

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ANÁLISE DE PERDAS REAIS EM UM SETOR
DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO
MUNICÍPIO DE CAPINZAL – SC**

Guilherme Violato Girol

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2008**

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ANÁLISE DE PERDAS REAIS EM UM SETOR
DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO
MUNICÍPIO DE CAPINZAL – SC**

Guilherme Violato Girol

**Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para
Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Prof. Dr. Peter Batista Cheung**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2008**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

ANÁLISE DE PERDAS REAIS EM UM SETOR
DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO
MUNICÍPIO DE CAPINZAL – SC

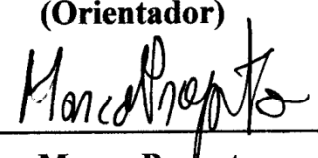
GUILHERME VIOLATO GIROL

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para
Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental –
TCC II

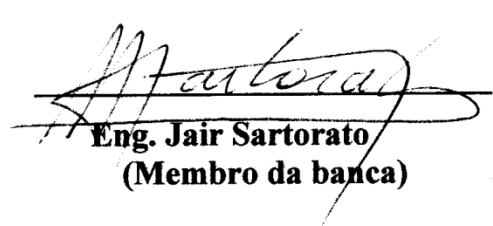
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Peter Batista Cheung
(Orientador)



Marco Propato
(Membro da banca)



Eng. Jair Sartorato
(Membro da banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2008

AGRADECIMENTOS

Agradeço, ao meu pai Flávio e minha mãe Tânia, pela força, suporte, incentivo, educação e amor.

Agradeço à minha namorada Susana por suportar a distância entre nós, com muita paciência e amor, durante a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Peter B. Cheung pela oportunidade oferecida de trabalhar no RESAN - Laboratório de Simulação Hidráulica de Infra-estruturas e por todo o apoio e atenção dada ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao pesquisador Narumi Abe e ao engenheiro Ricardo Santos Coutinho pela força na realização deste trabalho.

Ao pessoal da SIMAE, principalmente ao Ademar e ao Éder que auxiliaram nas medições em campo e a todos que me acolheram com bastante simplicidade e carisma e que sempre estiveram prontos a me ajudar no que fosse necessário.

Aos colegas laboratório RESAN que ajudaram a tratar os dados necessários para construção do trabalho.

RESUMO

GIROL, G. V. Análise de perdas reais em um setor do sistema de abastecimento de água no município de Capinzal – SC. Florianópolis, 2008, 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

A preocupação com a diminuição de perdas de água em sistemas de abastecimento é o grande desafio, neste século, das companhias de saneamento. Estas perdas ocorrem em todas as etapas do sistema, com maior frequência nas redes de distribuição. A quantificação destas perdas é de suma importância para as companhias no que diz respeito à eficiência de distribuição de água e aspectos econômicos. Este trabalho objetiva determinar as perdas reais um setor experimental de Capinzal/Ouro – SC administrado pela SIMAE – Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto. Serão utilizados dois métodos para avaliar as perdas reais. No primeiro deles, através das Vazões Mínimas Noturnas e no segundo através da calibração dos parâmetros de pressão e vazão utilizando o EPANET Calibrator, uma versão modificada do EPANET. Os resultados obtidos pelos dois métodos apontaram valores de perdas reais preocupantes, mas semelhantes entre si. O emprego dos dois métodos deve ser usado de forma complementar na análise das perdas reais.

Palavras-Chave: Perdas reais, Vazões Mínimas Noturnas, calibração

ABSTRACT

GIROL, G. V. Analysis of real losses in a sector of the water system supply in the city of Capinzal - SC. Florianópolis, 2008, 62 p. Work of conclusion's course – Federal University of Santa Catarina, Florianópolis

The concern about the decrease losses of water in supply systems is the major challenge in this century of companies of sanitation. These losses occur in all phases of the system, most frequently in distribution networks. The quantification of these losses is extremely important for companies regarding the efficiency of water distribution and economic aspects. This study aims to determine the real losses of an experimental sector in Capinzal / Ouro - SC administered by the SIMAE. Will be used two methods to determine the real losses. In the first, through the Minimum Night Flows and the second through the calibration parameters of pressure and flow using the EPANET Calibrator, a modified version of EPANET. The results obtained by two methods showed worrying values of real losses, but similar to each other. The use of both methods should be adopted in a complementary form in the analysis of real losses.

Keywords: Real losses, Minimum Night Flow, calibration,

LISTA DE FIGURAS

4.1 - Concepção de um sistema de abastecimento de água (ORSINI, 1996).....	4
4.2 - Exemplo de rede ramificada (Modificado de GOMES, 2004).....	6
4.3 - Exemplo de rede malhada (Modificado de GOMES, 2004).....	6
4.4: Exemplo de rede mista (Modificado de GOMES, 2004).....	6
4.5 - Vazamento na saída de um reservatório (Arquivo do Autor).....	7
4.6 - Exemplo de fraude em hidrômetro (Arquivo do Autor).....	7
4.7 - Hipótese das distribuições de perdas totais em um sistema de abastecimento de água (ARAUJO, 2005).....	8
4.8 - Representação do balanço hídrico no sistema de abastecimento de água. (Adaptado de TSUTIYA, 2006).....	10
4.9 - Configuração dos tipos de vazamentos (Modificado de GONÇALVES, 1998).....	10
4.10 - Matriz do Balanço Hídrico de um sistema de abastecimento de (Adaptado de TSUTIYA, 2006).....	13
4.11 - Variação da pressão com as manobras realizadas no registro de entrada do setor em um dos dias do ensaio (SILVA et al, 2005).....	17
5.1 - Principais componentes físicos do EPANET.....	20
5.2 - Criação de um setor para calibração (EPANET CALIBRATOR USER'S GUIDE, 2008).....	21
5.3 - Tela de inserção de dados (EPANET CALIBRATOR USER'S GUIDE, 2008).....	21
5.4 - Análise dos componentes da vazão média mínima noturna (LAMBERT, 2002).....	23
6.1 - Entrada da sede administrativa da SIMAE.....	25
6.2 - Entrada da ETA em anexo à SIMAE.....	25
6.3 - Localização dos municípios de Capinzal e Ouro (GES, 2008).....	26
6.4 - Município de Capinzal.....	26
6.5 - Município de Ouro.....	26
6.6 - Vista geral do setor da Subestação	27
6.7- Macromedidor do setor da Subestação.....	27
6.8 - Padrão de consumo do setor da Subestação.....	29
6.9 - Funcionamento do Setor Subestação.....	30
6.10 - Datalogger de medição de pressão.....	31
6.11 - Datalogger de pressão instalado no cavalete residencial (a).....	31
6.12 - Datalogger de pressão instalado no cavalete residencial (b).....	31

6.13 - Localização dos pontos monitorados no setor da Subestação para coleta de dados de pressão.....	32
6.14 - Setorização da rede para calibração com as faixas de pressão.....	34
6.15 - Dados simulados, observados e calibrados de pressão para o Ponto 1.....	35
6.16 - Dados simulados, observados e calibrados de pressão para o Ponto 2.....	35
6.17 - Dados simulados, observados e calibrados de pressão para o Ponto 3.....	35
6.18 - Dados simulados, observados e calibrados de pressão para o Ponto 4.....	36
6.19 - Dados simulados, observados e calibrados de pressão para o Ponto 5.....	36
6.20 - Dados simulados, observados e calibrados de vazão para a saída do RS-6B.....	36
6.21 - Localização dos Coeficientes Emitters gerado após a calibração.....	38
6.22 - Início das manobras no setor da Subestação.....	40
6.23 - Conversor do macromedidor do setor da Subestação.....	40

LISTA DE QUADROS

4.1 - Caracterização geral das perdas (TSUTIYA, 2006).....	9
4.2 - Índices Percentuais de Perdas (Adaptado de WEIMER, 2001).....	14

LISTA DE TABELAS

4.1 - Índice de perdas de faturamento médio dos prestadores de serviço participantes do SNIS em 2006, segundo abrangência e região geográfica (SNIS, 2006).....	8
6.1 - Índice Percentual médio para os meses de janeiro a junho de 2008, dos setores do SAA de Capinzal/Ouro.....	28
6.2 - Relação das informações cadastrais e operacionais do setor da Subestação para o mês de outubro/2008.....	29
6.3 - Identificação e cotas dos pontos monitorados.....	32
6.4 - Relação dos coeficientes de rugosidades antes e após a calibração.....	34
6.5 - Cálculo do Erro Médio Absoluto para os dados de vazão e pressão.....	37
6.6 - Balanço Hídrico simplificado das perdas utilizando o método da calibração..	39
6.7 - Resumo dos valores de vazão, pressão e N_1 encontrados no setor da Subestação para a primeira tentativa.....	40
6.8 - Resumo dos valores de vazão, pressão e N_1 encontrados no setor da Subestação para a segunda tentativa.....	41
6.9 - Resumo dos valores de vazão e pressão durante as mínimas noturnas e valores dos Fatores Noite/Dia.....	42
6.10 - Balanço Hídrico simplificado do setor da Subestação utilizando o método das VMN.....	43
6.11 - Comparação entre SAA utilizando o Índice de Perdas por Ramal.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG's	Algoritmos Genéticos
BH	Balanço Hídrico
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
EPA	Environmental Protection Agency
ETA	Estação de Tratamento de Água
FND	Fator Noite/Dia
FP	Fator de Pesquisa
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IIEP	Índice Infra-Estrutural de Perdas
ID	Identificação
IP	Indicador Percentual
IPER	Índice de Perdas por Extensão de Rede
IPR	Índice de Perdas por Ramal
IWA	International Water Association
PMSS	Programa de Modernização do Setor Saneamento
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
RNF	Reservatório de Nível Fixo
RNV	Reservatório de Nível Variado
RS	Reservatório Superior
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SIMAE	Serviço Intermunicipal de Água e Saneamento Capinzal/Ouro

SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
VDPR	Volume Diário de Perdas Reais
VRP	Válvula Redutora de Pressão

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Valor contabilizado junto ao consumidor final (unidade de volume)
K	Coefficiente de perda de carga localizada
L_p	Extensão total do ramal domiciliar entre a testada do imóvel e o hidrômetro (km)
L_{ri}	Extensão da rede (km)
N_1	Expoente de vazamento
N_c	Número de ramais
n^{PD}	Número de padrões de demanda observados
n_T	Número de singularidades supostamente presentes na rede
nt^P	Número de observações de pressões realizadas para o padrão t
nt^Q	Número de observações de vazões realizadas para o padrão t
$n\theta$ e $n\beta$	Número de setores com coeficiente e expoente de vazamento homogêneos, respectivamente.
P	Pressões simuladas (m.c.a)
P^*	Pressões observadas (m.c.a)
$P_{3às4hs}$	Pressão das 03h00min às 04h00min (m.c.a)
P_{i24hs}	Pressão enésima ao longo de 24 horas (m.c.a)
Q	Vazões simuladas (unidades de vazão)
Q^*	Vazões observadas (unidades de vazão)
Q_{md}	Vazão média diária (unidades de vazão)
Q_{mn}	Vazão mínima noturna (unidades de vazão)
U	Usos operacionais da companhia (unidade de volume)
V_{ETA}	Valor produzido na ETA (unidade de volume)
β	Expoente de perda do modelo de vazamentos
θ	Coefficiente de perda do modelo de vazamentos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Geral.....	2
2.2. Específicos	2
3. JUSTIFICATIVA	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
4.1. Sistema de Abastecimento de Água.....	4
4.2. Componentes de um sistema de abastecimento de água.....	4
4.2.1. Manancial.....	4
4.2.2. Captação.....	4
4.2.3. Estações Elevatórias	5
4.2.4. Adutoras	5
4.2.5. Estação de Tratamento de Água (ETA).....	5
4.2.6. Reservatórios de Distribuição de Água	5
4.2.7. Redes de abastecimento de água.....	6
4.3. Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água	7
4.4. Tipos de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água.....	10
4.4.1. Perdas Reais	10
4.4.1.1. Vazamentos.....	10
4.4.1.2. Extravasamentos	11
4.4.2. Perdas Aparentes.....	11
4.4.2.1. Erros de Macromedição	11
4.4.2.2. Erros de Micromedição.....	11
4.4.2.3. Gestão Comercial.....	12
4.5. Balanço Hídrico (BH)	12
4.6. Indicadores de Perdas	14
4.7. Avaliação das Perdas Reais	16
4.7.1. Método das Vazões Mínimas Noturnas (VMN).....	16
4.7.2. Calibração de modelos hidráulicos	17
4.7.2.1. Métodos Explícitos	18
4.7.3.2. Métodos Implícitos	18
5. METODOLOGIA	19
5.1. Escolher um SAA	19
5.2. Escolher um setor.....	19
5.3. Levantar dos dados cadastrais e operacionais do setor em estudo	19
5.4. Modelar o setor utilizando o software EPANET	19

5.5. Instrumentar o setor em estudo através de campanhas de campo.....	20
5.6. Calibrar o modelo utilizando o EPANET Calibrador através dos resultados observados em campo.....	20
5.7. Calcular os erros gerados pela calibração.....	22
5.8. Quantificar as perdas reais do setor	22
5.8.1. Via Mínimas Noturnas.....	22
5.8.2. Via Epanet Calibrador	24
5.9. Comparar os resultados obtidos com as duas técnicas e com outros SAA.....	24
5.10. Propor ações de controle e redução de perdas.	25
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
6.1. Escolha do SAA.....	25
6.2. Caracterização do SAA Capinzal/Ouro	27
6.3. Escolha do setor de estudo.....	27
6.4. Levantamento de informações cadastrais e operacionais	29
6.5. Funcionamento do setor da Subestação	30
6.6. Construção do modelo em EPANET	30
6.7. Instrumentar o setor da Subestação	30
6.8. Levantamento das perdas reais	33
6.8.1. Calibração	33
6.8.3 Mínimas Noturnas.....	39
6.9. Comparação de desempenho	43
7. CONCLUSÕES	45
8. RECOMENDAÇÕES	46
9. BIBLIOGRAFIA	48
APÊNDICES	
A – Relação das cotas (Elevation) e diâmetros (Diameter) do setor da Subestação .	54
B – Relação dos valores de pressão observada, simulada e calibrada para os Pontos 1, 2 e 3.....	55
C – Relação dos valores de pressão observada, simulada e calibrada para os Pontos 4 e 5 e relação dos valores de vazão observada, simulada e calibrada para a saída do RS-6B.....	56
D – Relação dos nós gerados pela calibração com Coeficiente Emitters (a).....	57
E – Relação dos nós gerados pela calibração com Coeficiente Emitters (b).....	58
F – Relação dos nós gerados pela calibração com Coeficiente Emitters (c)	59
G – Relação dos nós gerados pela calibração com Coeficiente Emitters (d)	60

H – Variação da pressão ao longo do dia durante as manobras no setor da Subestação	61
I – Variação da pressão das 02h00min às 03h40min durante as manobras no setor da Subestação	62

1. INTRODUÇÃO

O crescimento constante da população mundial e as expansões das atividades industriais demandam cada vez mais da necessidade do aumento da utilização de recursos naturais, acarretando na degradação do meio ambiente.

A universalização do atendimento das populações urbanas com água tratada é, atualmente, o grande e nobre esforço dos administradores públicos (TARDELLI FILHO, 2006). De acordo com a Lei Federal de Recursos Hídricos Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a água é um recurso limitado e dotado de valor econômico. Logo é preciso ter responsabilidade no que diz respeito ao seu uso.

Dentro de muitas companhias de saneamento, constata-se que seus administradores idealizam o perfeito funcionamento das estruturas, a duração infinita dos materiais, a alta precisão dos equipamentos, além da experiência infalível dos operadores (TARDELLI FILHO, 2006). Com esta idéia em mente, os administradores não investem ao longo dos anos em melhorias do sistema, levando as companhias de saneamento ao total abandono.

Segundo a *International Water Association*, IWA (2002), as perdas em sistemas de abastecimento de água tornaram-se, neste século, a principal preocupação das companhias de saneamento, não só do Brasil, mas no mundo todo. Só no Brasil, Miranda (2002) diz que as perdas situam-se no patamar de 40%. As perdas correspondem, para as companhias de saneamento, volumes de água não contabilizados, acarretando na perda de arrecadamento.

As perdas dividem-se em reais e aparentes. Basicamente, as perdas reais estão relacionadas com os vazamentos nas tubulações e extravasamento dos reservatórios, enquanto as perdas aparentes estão relacionadas com erros de micro e macromedição e das fraudes por parte dos clientes da companhia. O presente trabalho realizou um estudo das perdas reais em um setor do sistema de abastecimento de água do município de Capinzal, administrado pela Autarquia Intermunicipal SIMAE – Serviço Intermunicipal de Água e Saneamento Capinzal/Ouro no Estado de Santa Catarina.

A expectativa com a realização deste trabalho está na obtenção de valores de perdas confiáveis com a realidade do setor em operação para que as técnicas empregadas no estudo possam ser incorporadas pela Autarquia e utilizadas em toda a rede da cidade de Capinzal e também em Ouro. Deste modo, surge o seguinte questionamento: qual é melhor técnica para o levantamento das perdas reais em sistemas de abastecimento de água?

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

O objetivo principal do trabalho é avaliar as perdas reais em um setor da rede de abastecimento de água no município de Capinzal, através dos métodos das Vazões Mínimas Noturnas e da técnica de calibração, utilizando o EPANET Calibrator.

2.2. Específicos

- Identificar um setor no sistema de abastecimento de água de Capinzal/Ouro que apresente valores elevados de perdas;
- Avaliar o comportamento do setor através da instrumentação da rede através da modelagem;
- Quantificar as perdas reais;

3. JUSTIFICATIVA

O presente trabalho tem por finalidade mostrar as companhias de saneamento o grau de importância da quantificação das suas perdas e propor algumas ações diretas para promover sua redução.

Inúmeros fatores podem ser enumerados para demonstrar o seu benefício nos sistemas de abastecimento de água. Segundo o PMSS - Programa de Modernização do Setor Saneamento (2003), para um total de R\$ 7,2 bilhões faturados pelos serviços de abastecimento de água em 2000, 15% correspondem a R\$ 1,1 bilhão, que representaria o incremento da receita caso as perdas fossem reduzidas nesse percentual e os volumes recuperados convertidos em faturamento. Para Miranda (2002) isso possibilitaria o melhor aproveitamento da infra-estrutura existente, promovendo assim a aplicação de recursos para ampliação/melhoramento dos sistemas.

Além da motivação da redução de gastos, melhorias no sistema e satisfação com o cliente, o governo estimula o controle das perdas das companhias através de programas como o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) e o Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS) ligados ao Ministério das Cidades. Com isso, os órgãos financiadores, como a Caixa Econômica Federal, só liberam recursos para as companhias que estão de acordo com o que rege a cartilha destes programas.

Mas não é somente a questão econômica que deve ser levada em consideração. Sob a ótica ambiental, as perdas de água nos sistemas carregam consigo consumo de matéria prima, principalmente na etapa de tratamento de água. Seu correto gerenciamento proporcionaria uma redução do consumo de matéria prima extraída da natureza.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Sistema de Abastecimento de Água

Segundo Gomes (2004) um sistema de abastecimento de água *é o conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público*. Este sistema constitui-se basicamente da captação de água de algum manancial, do seu tratamento e posterior distribuição por gravidade aos consumidores através de reservatórios em zonas mais baixas e através de bombeamento em zonas mais altas. A figura 4.1 mostra a configuração geral de um sistema de abastecimento de água.

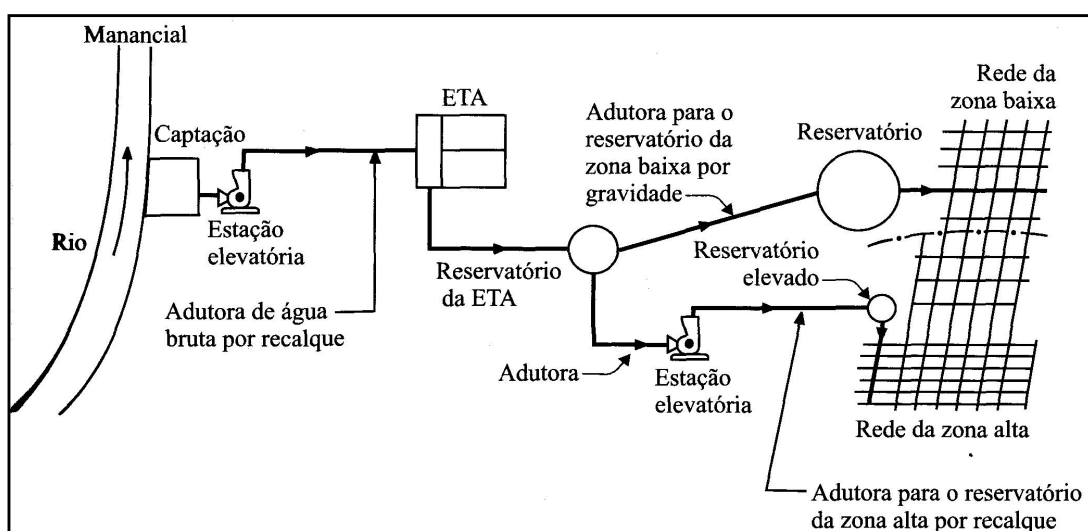


FIGURA 4.1 - Concepção de um sistema de abastecimento de água (ORSINI, 1996).

4.2. Componentes de um sistema de abastecimento de água

4.2.1. Manancial

É o local onde é captada água para o abastecimento. Esta captação pode ser de uma fonte subterrânea ou superficial e deve ser suficiente para atender a demanda de projeto (TSUTIYA, 2005).

4.2.2. Captação

É o conjunto de obras necessárias para retirar a água do local. Para os mananciais de superfície, tipo de captação mais comum, as obras são de acordo com o porte dos mananciais, topografia, geologia do local e da velocidade, qualidade e variação do nível da água. (DACACH, 1979). O projeto e construção das obras de

captação devem assegurar condições de fácil entrada da água e da melhor qualidade possível.

4.2.3. Estações Elevatórias

Segundo Tsutiya (2006), as estações elevatórias são de fundamental importância dentro de um sistema de abastecimento de água. Elas podem ser utilizadas na captação, adução, tratamento e na distribuição propriamente dita. Seu emprego, porém, deve ser visto com cautela, devido ao elevado custo da energia elétrica. Os gastos com bombeamento podem representar uma fatia representativa dentro de uma companhia de saneamento.

4.2.4. Adutoras

São canalizações dos sistemas de abastecimento de água com o propósito de conduzir água para as unidades que antecedem a rede de distribuição do sistema. As adutoras, em geral, não distribuem água aos consumidores e são responsáveis pela interligação da captação, estação de tratamento e reservatórios (TSUTIYA, 2006).

4.2.5. Estação de Tratamento de Água (ETA)

A Estação de Tratamento de Água é o local onde a água passa por determinado tipo de tratamento antes de ser distribuída aos consumidores. O sistema de abastecimento de água deve fornecer aos seus usuários água potável e de boa qualidade, de acordo com a norma e os padrões de potabilidade exigidos por legislação.

4.2.6. Reservatórios de Distribuição de Água

Os reservatórios de distribuição de água constituem em um dos elementos mais importantes dentro dos sistemas de distribuição de água. De acordo com Tsutiya (2006), os reservatórios possuem as seguintes finalidades:

- **Regularização da vazão:** acumulam água durante as horas em que a demanda de água é inferior a média e fornecem vazões complementares quando a demanda for superior à média;
- **Segurança:** São importantes em situações onde, por exemplo, uma adutora é rompida sendo necessária a interrupção da captação ou estação de tratamento;
- **Reserva de água para incêndio:** Podem disponibilizar vazões extras para o combate a possíveis incêndios;
- **Regularização das pressões:** O reservatório pode ser alocado em determinados pontos do sistema para reduzir a pressão na rede. São os chamados reservatório de quebra de pressão.

4.2.7. Redes de abastecimento de água

Segundo Tsutiya (2006), as redes de abastecimento de água são formadas por tubulações e órgãos acessórios com o objetivo de levar água potável de forma contínua em quantidade, qualidade e pressão adequada aos consumidores de acordo com a norma vigente. As redes são constituídas por dois tipos de canalizações:

a) Principal: São as tubulações com maior diâmetro que tem por objetivo levar água as tubulações secundárias. Estas tubulações também são conhecidas como canalização mestra ou conduto tronco.

b) Secundária: São as tubulações de menor diâmetro e tem por objetivo abastecer os pontos de consumo no sistema.

Com relação ao tipo de traçado destes condutos, Araújo Prince (2006) classifica-os como:

a) Rede ramificada: Esta configuração é característica de áreas que possuem um desenvolvimento linear em que as ruas não conectam entre si devido a problemas na topografia local ou de traçados urbanos (figura 4.2). Estas redes podem ter traçados do tipo “espinha de peixe” ou “em grelha”.

b) Rede malhada: Esta configuração de rede é típica de áreas com ruas formando malhas viárias (figura 4.3). As tubulações principais formam blocos ou anéis permitindo o abastecimento do sistema por mais de um caminho, favorecendo a manutenção na rede com o mínimo possível de interrupção no abastecimento de água.

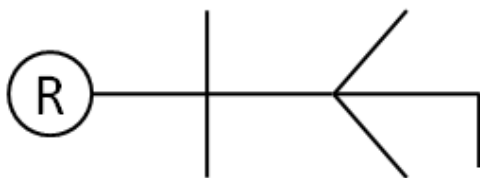


FIGURA 4.2 - Exemplo de rede ramificada (Modificado de GOMES, 2004)



FIGURA 4.3 - Exemplo de rede malhada (Modificado de GOMES, 2004)

c) Rede mista: a rede mista nada mais é do que a combinação da rede ramificada com a rede malhada (figura 4.4).

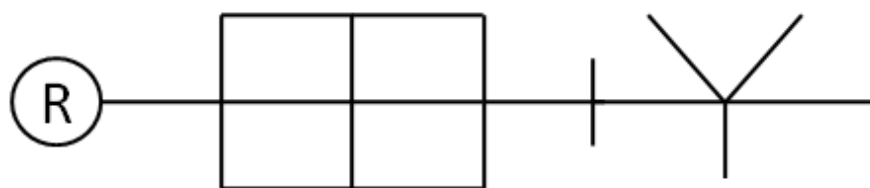


FIGURA 4.4: Exemplo de rede mista (Modificado de GOMES, 2004)

4.3. Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água

Quando se fala em perdas em redes de abastecimento de água, fisicamente, deduz-se que é tudo aquilo que a companhia de saneamento produz de água tratada e que não chega ao seu destino final. Segundo a IWA, podemos dividir as perdas em dois tipos:

a) Perda Real: também conhecida como perda física, é o volume de água produzido pela companhia que não chega ao consumidor, ou seja, que não é medida no hidrômetro (micromedição), devido a vazamentos nas adutoras (figura 4.5), redes de distribuição e extravasamento de reservatórios.

b) Perda Aparente: também conhecida como perda não-física ou perda comercial, é o volume de água produzido pela companhia, consumida pelo cliente, mas que não é contabilizado, devido a erros de medição dos hidrômetros, ligações clandestinas, violação nos hidrômetros (figura 4.6) e falhas no cadastro comercial.



FIGURA 4.5 - Vazamento na saída de um reservatório (Arquivo do Autor)



FIGURA 4.6 - Exemplo de fraude em hidrômetro (Arquivo do Autor)

As perdas reais e aparentes possuem uma determinada proporção dentro das perdas totais. Araujo (2005) propõe a seguinte distribuição das mesmas (figura 4.7).

Entretanto, pode-se pensar do ponto de vista econômico para a companhia, ou seja, tem-se um custo para beneficiar a água bruta, reservar e distribuí-la aos consumidores e por algum motivo, esta água não chega integralmente ao seu uso final, gerando prejuízo à empresa. Deste modo, é do interesse dos administradores reduzirem estes índices.

Mas esta preocupação dos administradores, efetivamente, começou há apenas 20 anos, quando a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades criou o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Nele é empregada a idéia de implementação de ações e instrumentos para reduzir os volumes de água perdidos nas áreas urbanas. Além deste programa citado, existem outros como o Programa de Modernização do Setor Saneamento entre outros.

Entretanto, dados do SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, o índice de perdas de faturamento médio dos participantes do sistema (tabela 4.1) chega a quase 40%, um valor muito alto e preocupante nos dias de hoje, revelando que ainda há muita coisa a ser melhorada pelos administradores.

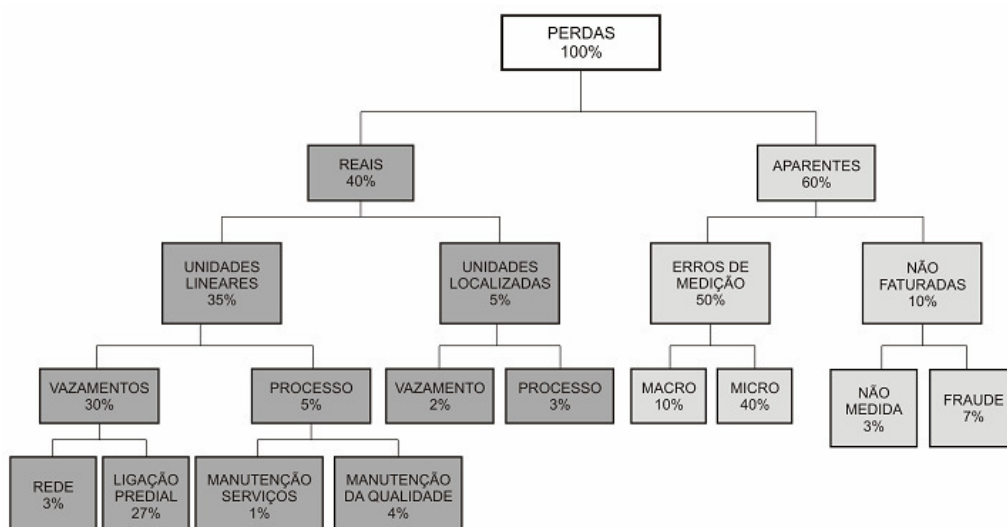


FIGURA 4.7 – Hipótese das distribuições de perdas totais em um sistema de abastecimento de água (ARAUJO, 2005).

TABELA 4.1 - Índice de perdas de faturamento médio dos prestadores de serviço participantes do SNIS em 2006, segundo abrangência e região geográfica (SNIS, 2006)

Regiões / Abrangência	Regional (%)	Microrregional (%)	Local (%)	Brasil (%)
Norte	53,4	-	63,3	58,1
Nordeste	45,1	19,5	34,4	44,1
Sudeste	39,8	42,6	37,9	39,3
Sul	26,6	13,9	38,1	29,7
Centro-Oeste	32,9	31,7	41,8	36,0
Brasil	39,5	38,6	40,7	39,8

Segundo os critérios adotados pelo SNIS, a abrangência regional engloba os prestadores que atendem a vários municípios e são compreendidos principalmente pelas companhias estaduais. Os prestadores de âmbito microrregional atendem a mais de um município, normalmente adjacentes e agrupados em uma pequena quantidade, e compreendem os consórcios intermunicipais. Por fim, os prestadores de abrangência local são aqueles que administram os serviços e operam o sistema do município em que estão sediados e, em certos casos, parte dos municípios vizinhos. São representados pelas companhias municipais públicas ou privadas.

As perdas sejam elas reais ou aparentes afetam de alguma forma o meio ambiente, os custos operacionais das companhias, os consumidores, entre outros. No quadro 4.1, tem-se um resumo da caracterização geral das perdas físicas e aparentes.

QUADRO 4.1 - Caracterização geral das perdas (TSUTIYA, 2006)

Item	Características Principais	
	Perdas Reais	Perdas Aparentes
Ocorrência mais comum	Vazamento	Erro de Medição
Custos associados ao volume de água perdido	Custos de produção da água tratada	Valor cobrado no varejo ao consumidor
Efeito no meio ambiente	- Desperdício de recursos naturais - Maiores impactos ambientais devido à necessidade de ampliação da exploração dos mananciais	Não é relevante
Efeito na saúde pública	Riscos de contaminação	Não é relevante
Ponto de vista empresarial	Perda do produto industrializado	Perda elevada de receita
Ponto de vista do consumidor	Imagem negativa da empresa, associada ao desperdício e ineficiência.	Não é uma preocupação imediata
Efeitos finais no consumidor	- Repasse de custos à tarifa - Desincentivo ao uso racional de água	- Repasse de custos à tarifa - Incitamento ao roubo e fraudes

Finalmente, analisa-se as perdas sob o ponto de vista matemático:

$$Perdas = V_{ETA} - C - U \quad (4.1)$$

onde V_{ETA} representa o volume produzido na ETA, C o valor contabilizado junto ao consumidor final (micromedição) e U representam os usos operacionais da companhia, emergências e sociais. Os usos operacionais estão associados ao uso de água para o processo de tratamento, como limpeza de filtros e decantadores, os usos emergenciais estão relacionados aos combates de incêndio e os usos sociais estão ligados às tarifas sociais de água concedidos pela companhia. Na figura 4.8 podemos visualizar este balanço de água de forma mais clara.

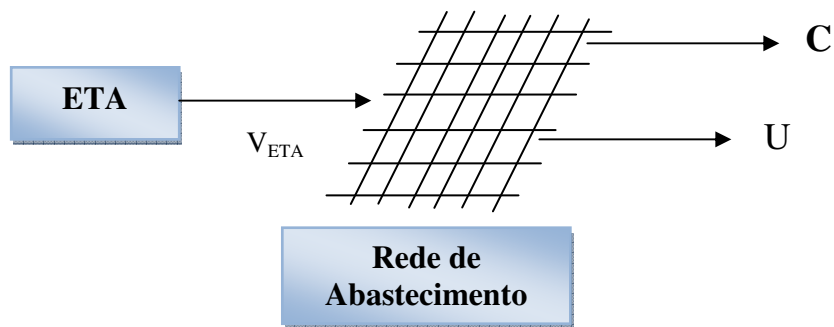


FIGURA 4.8 - Representação do balanço hídrico no sistema de abastecimento de água. (Adaptado de TSUTIYA, 2006).

4.4. Tipos de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água

4.4.1. Perdas Reais

4.4.1.1. Vazamentos

É o caso mais comum de perdas reais dentro de um sistema de abastecimento de água. Eles podem ocorrer nas adutoras, nas redes e nos ramais de ligação. Segundo Lambert (2000) os vazamentos são classificados em três tipos:

- a) **Visíveis:** São os vazamentos de curta duração e altas vazões que afloram para a superfície e são facilmente detectáveis. Representam 45% dos vazamentos.
- b) **Não-visíveis:** São os vazamentos que não afloram para a superfície e, por isso, não podem ser detectados no visual. Possuem vazões moderadas e a sua duração depende da frequência da pesquisa de vazamento. Representam 30% dos vazamentos.
- c) **Inerentes:** São os vazamentos não visíveis e não detectáveis por equipamentos de detecção acústica. Geralmente são vazões abaixo de 250 litros/hora. Representam 25% dos vazamentos. A figura 4.9 ilustra de maneira prática os tipos de vazamentos citados.

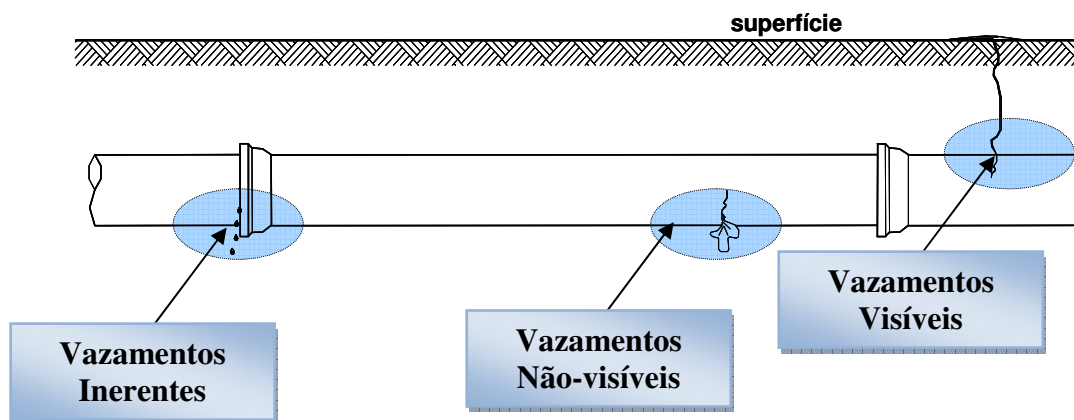


FIGURA 4.9 - Configuração dos tipos de vazamentos (Modificado de GONÇALVES, 1998).

Vale ressaltar aqui, que um fator intimamente ligado aos vazamentos nas redes de abastecimento de água é a pressão de serviço. Quando aumentamos a pressão na rede, geramos dois problemas: um deles se refere à frequência de arrebentamento das tubulações, e o outro é com relação ao aumento das vazões dos vazamentos, ocasionando grandes perdas físicas no sistema. (TARDELLI FILHO, 2006).

4.4.1.2. Extravasamentos

Os extravasamentos de reservatórios ocorrem, de maneira geral, no período noturno, durante o seu carregamento, devido à ausência de dispositivos de alerta e controle ou falhas operacionais nos equipamentos já existentes. Quando os reservatórios estão cheios, a água é coletada pelo extravasor onde é levada à rede de drenagem pluvial ou para algum outro lugar apropriado. Este volume de água, na maioria das vezes, não é contabilizado pelos operadores, gerando assim uma maior dificuldade para a obtenção de dados mais precisos. Porém, isto não chega a ter grande importância numérica em um contexto mais geral (TARDELLI FILHO, 2006).

4.4.2. Perdas Aparentes

4.4.2.1. Erros de Macromedição

A macromedição refere-se ao conjunto de medições de vazão, pressão e nível dos reservatórios realizados dentro dos sistemas de abastecimento de água que envolve desde a captação do manancial até antes do ponto final de entrega aos consumidores.

Estes aparelhos apresentam uma imprecisão natural que varia de acordo com o tipo de medidor. Segundo Tardelli Filho (2006), esta imprecisão natural pode ser incrementada devido a fatores como:

- Instalação inadequada;
- Descalibração do medidor;
- Dimensionamento inadequado, operando com baixas velocidades;
- Grande amplitude entre vazões máximas e mínimas;
- Problemas na transmissão dos dados, quando se utiliza telemetria.

4.4.2.2. Erros de Micromedição

A micromedição refere-se à medição do volume consumido pelos usuários da companhia de saneamento. Estes aparelhos são instalados, em geral, na testada da entrada do imóvel, seja ele residencial, comercial, público ou industrial e são responsáveis pela maior parte da arrecadação das empresas.

Ao longo dos anos, os hidrômetros apresentam um decaimento natural de sua precisão na ordem de 1% (SABESP/IPT, 1987). A vida útil de um hidrômetro que mede de 1,5 a 3,0 m³/hora gira em torno de 5 a 10 anos. Este período de vida útil depende das características qualitativas da água distribuída, do tipo de hidrômetro, etc. De acordo com Tardelli Filho (2006), os grandes fatores de erro nas medições dos hidrômetros, gerando uma submedição, na maioria dos casos, são:

- Envelhecimento do hidrômetro (já citado acima), acarretando desgastes de suas peças internas, passando a trabalhar fora de suas condições ideais;
- Qualidade da água distribuída, em casos onde há a ocorrência óxidos, provenientes do efeito da corrosão das tubulações;
- Inclinação lateral do aparelho.

4.4.2.3. Gestão Comercial

Compreende todo o processo de contabilização das vendas de água tratada e seu faturamento, através de softwares comerciais e recursos humanos. Dentro deste processo, diversas falhas podem ocorrer tais como:

- **Cadastro Comercial:** representa o registro dos consumidores de forma sistematizada envolvendo diversos dados como localização da ligação, tipo de ligação, entre outros. Erro como o não cadastramento de novas ligações, ausência nos registros de corte/reativação de ligações, podem ocorrer quando tanto o setor comercial quanto o operacional não estão em sintonia;
- **Fraudes e ligações clandestinas:** As fraudes ocorrem geralmente através de alguma intervenção no hidrômetro tais como: furo do seu visor, rompimento do lacre e inversão do mesmo. Já as ligações clandestinas ocorrem devido a: bypass (desvio ao hidrômetro), derivação clandestina do ramal, derivação clandestina na rede e ligação direta consecutiva.

4.5. Balanço Hídrico (BH)

Segundo Tardelli Filho (2006), para se representar e quantificar os múltiplos usos da água dentro do sistema de abastecimento de água, que engloba desde a sua captação até o momento em que ela é disponibilizada ao consumidor final, é preciso fazer um fluxograma desde sistema, chamado balanço hídrico. Este balanço hídrico é uma forma estruturada de avaliar todos os fluxos da água. A figura 4.10 mostra a matriz de balanço hídrico proposto pela IWA para termos uma uniformidade na representação geral de sua configuração.

A fim de entendermos melhor como funciona a matriz de balanço hídrico, foram listados e conceituados os principais termos, segundo Tardelli Filho (2006):

- **Água que entra no sistema:** Volume anual de água produzido pela ETA ou em um determinado ponto de medição, como reservatório setorial ou derivação de adutoras;
- **Consumo autorizado:** Volume anual de água medido e/ou não-medido fornecido a consumidores cadastrados, à própria companhia de saneamento e

a outros que esteja implícita ou explicitamente autorizado a fazê-lo, para usos domésticos, comerciais ou industriais.

- **Perda de água:** É o volume total de água que entra no sistema menos o consumo autorizado;
- **Consumo autorizado faturado:** É o consumo que gera receita para a companhia de saneamento. Este consumo é medido através dos hidrômetros e das estimativas dos locais onde não há hidrômetros instalados;
- **Consumo autorizado não-faturado:** É o volume de água consumido que não gera receita para a companhia de saneamento. Este consumo é a soma dos Volumes Medidos, usados para abastecer caminhões-pipa e uso interno da companhia e dos Volumes Não-Medidos, oriundos de combates a incêndio, lavagem de ruas e de atividades da companhia como lavagem de reservatórios e de redes de água e esgoto.
- **Águas faturadas:** É o volume de água que representa a parcela da água vendida para o consumidor;
- **Águas não-faturadas:** É o volume de água que representa a diferença entre tudo que entrou no sistema e do consumo autorizado. Dentro desta diferença, encontram-se as perdas reais e aparentes, bem como o consumo autorizado não faturado.

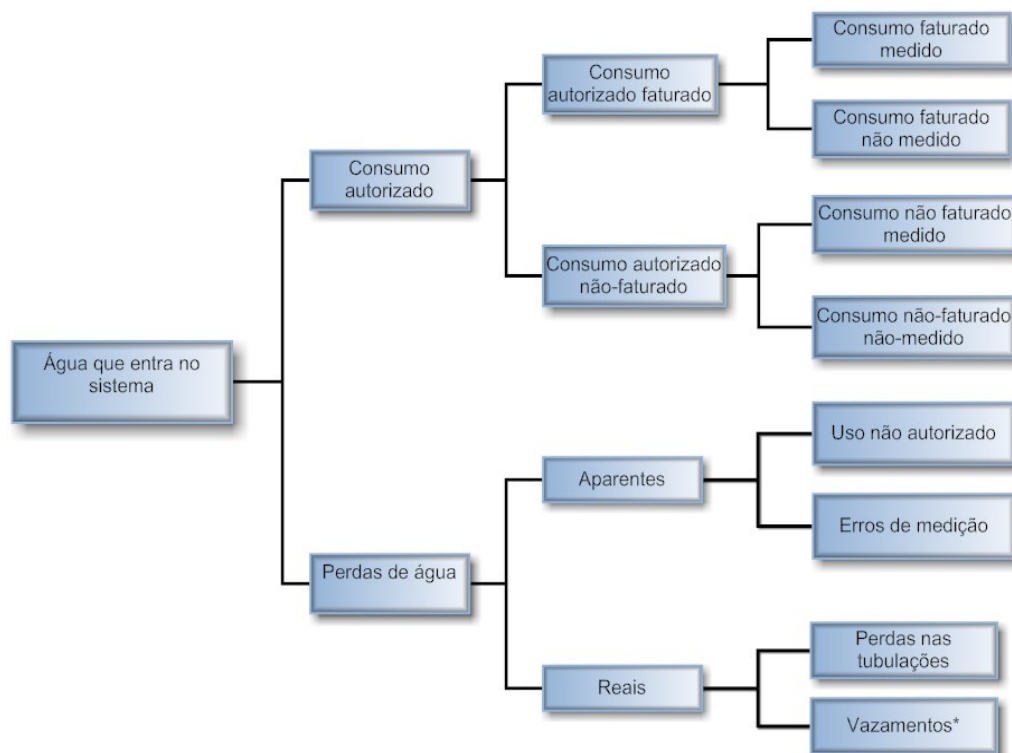


FIGURA 4.10 - Matriz do Balanço Hídrico de um sistema de abastecimento de (Adaptado de TSUTIYA, 2006).

4.6. Indicadores de Perdas

Existem diversos indicadores para quantificar as perdas dentro do sistema de abastecimento de água. Eles devem oferecer uma boa confiabilidade para o gerenciamento e planejamento das ações de redução e controle das perdas, possibilitando análises de comparação de desempenho em outros sistemas e operadores de serviço (MIRANDA, 2002).

Com o objetivo de padronizar estes indicadores em nível mundial, a IWA (ALEGRE, 2000) está discutindo uma série de indicadores voltados para os sistemas de abastecimento de água. Segundo Tardelli Filho (2006), os indicadores podem ser divididos em:

➤ Indicador Percentual (IP)

É o indicador mais utilizado e mais facilmente compreendido. Este indicador relaciona o volume total perdido (Perdas Reais e Perdas Aparentes) com o montante de volume disponibilizado. É possível fazer esta análise para todo o sistema ou apenas em parte dele. Sua equação é dada como:

$$IP = \frac{\text{Volume Perdido Total}}{\text{Volume Fornecido}} \times 100 (\%) \quad (4.2)$$

O numerador da equação 4.2 é dado pela a diferença do Volume Total Fornecido do Volume Autorizado Medido e do Volume Autorizado Não Medido. Segundo Tardelli Filho (2006), este indicador não é recomendado para comparação de desempenho entre dois sistemas distintos, assumindo uma mesma quantidade de volume perdido, devido às características específicas do sistema. Por outro lado, para uma apuração sistemática, este índice mostra-se bastante satisfatório para o controle e acompanhamento das perdas.

Lambert (2002) propõe o abandono deste índice para uma avaliação técnica do sistema, aplicando-o apenas para uma avaliação financeira, sendo que o numerador da equação 4.2 seria substituído pelo volume referente às Águas Não-Faturadas ao invés de Volume Perdido. O quadro 4.2, dá um panorama da classificação dos sistemas de abastecimento de água, em relação ao indicador percentual.

QUADRO 4.2 - Índices Percentuais de Perdas (Adaptado de WEIMER, 2001)

Índice Total de Perdas (%)	Classificação do Sistema
Menor do que 25	Bom
Entre 25 e 40	Regular
Maior do que 40	Ruim

➤ **Índice de Perdas por Ramal (IPR)**

Este indicador relaciona o Volume Perdido Total Anual com o consumo médio dos ramais existente na rede de distribuição de água a ser analisado. Sua equação (4.3) é dada como:

$$IPR = \frac{\text{Volume Perdido Anual}}{\text{N}^\circ \text{ de Ramais} \times 365} \text{ (m}^3/\text{ramal.dia)} \quad (4.3)$$

É indicado o uso deste indicador em áreas com densidade de ramais superior a 20 ramais/km. Uma consideração a ser feita neste indicador é a não utilização da variável pressão de operação do sistema para uma comparação de desempenho. A pressão influencia grandemente no comportamento das perdas reais (TARDELLI FILHO, 2006) como já foi citado anteriormente.

➤ **Índice de Perdas por Extensão de Rede (IPER)**

Este indicador também envolve o Volume Perdido Total Anual, mas relaciona-se com a extensão da rede. Com isso temos que:

$$IPER = \frac{\text{Volume Perdido Anual}}{\text{Extensão da Rede} \times 365} \text{ (m}^3/\text{km.dia)} \quad (4.4)$$

Analisando a equação 4.4 percebe-se que este indicador distribui as perdas ao longo de toda a extensão da rede em estudo. Recomenda-se sua utilização quando a densidade de ramais for inferior a 20 ramais/km, o que representa uma ocupação urbana mais baixa, como subúrbios e áreas rurais. Assim como o indicador anterior, não há qualquer formulação para representar a influência das pressões de operação (TARDELLI FILHO, 2006).

➤ **Índice Infra-Estrutural de Perdas (IIEP)**

Segundo Alegre (2000), esse indicador é a proposta mais atual para avaliarmos situações de perdas e permitir assim, a comparação entre sistemas distintos. A equação 4.5 mostra como é calculado este índice.

$$IIEP = \frac{\text{Volume Perdido Total Anual}}{\text{Volume Perdido Total Inevitável Anual}} \quad (4.5)$$

Este indicador nos fornece um valor adimensional, sendo que tanto o numerador quanto o denominador são expressos em litros/ramal/dia, e relaciona o Volume Perdido Total Anual com o Volume Perdido Total Inevitável Anual, ou seja, aquele volume mínimo de perdas esperado pela companhia de saneamento. Quanto maior for este índice, pior é a condição de perdas do sistema. A vantagem deste indicador é que ele considera na sua formulação a influência das pressões de

operação no sistema (TARDELLI FILHO, 2006). A formulação do denominador da equação 4.5, segundo Thornton (2002) é dada como:

$$VPTI = (18.Lri + 0,8.Nc + 25.Lp)P \quad (4.6)$$

onde VPTIA é o Volume Perdido Total Inevitável Anual em m³/dia; Lri é a extensão da rede, em km; Nc é o número de ramais; Lp é a extensão total do ramal domiciliar enterrado entre a testada da propriedade e o hidrômetro, em km e P é a pressão média do sistema, em m.c.a.

Lambert (2002) estudou 27 sistemas de abastecimento de água no mundo e encontrou valores na ordem de 0,5 a 13, com valores médios de 6,5. Devido ao recente desenvolvimento deste indicador, é de se esperar que o mesmo tenha expandido suas aplicações nas companhias de saneamento.

➤ Fator de Pesquisa (FP)

De forma similar ao IIEP, este indicador relaciona a vazão mínima noturna e a vazão média diária.

$$FP = \frac{Q_{mn}}{Q_{md}} \quad (4.7)$$

onde Q_{mn} é a menor vazão encontrada durante a madrugada em unidades de vazão e Q_{md} é a média das vazões do dia em unidades de vazão. Segundo Fávero e Dib (1981), em geral, se o Fator de Pesquisa compreender uma faixa de 0 a 0,25, é pouco provável a ocorrência de vazamentos. Já valores na faixa de 0,25 a 0,6 tendem a apresentar vazamentos e devem ser tomados cuidados. Por fim, valores acima de 0,6 representam a grande probabilidade de vazamentos.

4.7. Avaliação das Perdas Reais

4.7.1. Método das Vazões Mínimas Noturnas (VMN)

Segundo Tardelli Filho (2006), o método das Vazões Mínimas Noturnas é o principal indicador do nível de perdas reais que acontecem no sistema de abastecimento de água. Neste método são estimados parâmetros de vazamentos através de manobras realizadas na rede durante a madrugada, onde o consumo é considerado zero.

Viegas (2002) estimou parâmetros de vazamentos utilizando as VMN em um bairro da cidade de Santa Maria – RS. Os resultados encontrados mostraram que estes parâmetros associados ao EPANET permitem avaliar com boa precisão as perdas físicas de água.

Silva et al (2005) realizaram testes noturnos para a determinação da curva Pressão x Vazamento em uma rede real da cidade de São Carlos-SP. A figura 4.11 mostra a variação da pressão em um dos pontos monitorados.

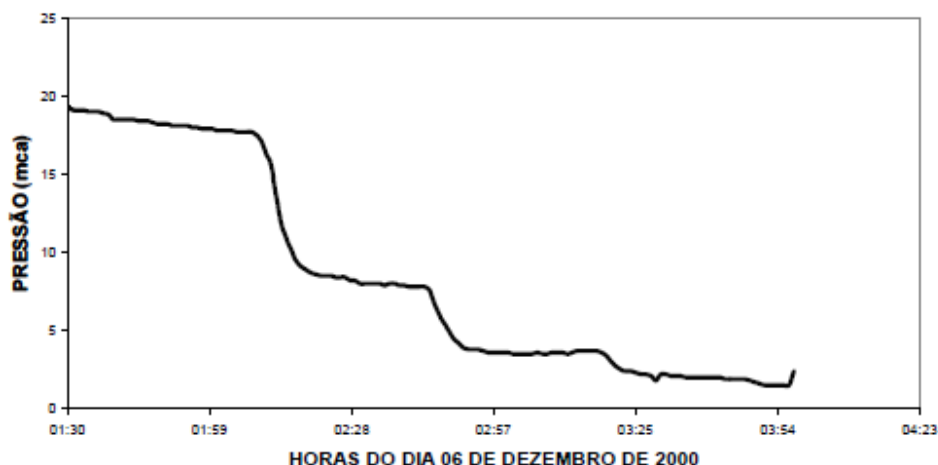


FIGURA 4.11: Variação da pressão com as manobras realizadas no registro de entrada do setor em um dos dias do ensaio (SILVA et al, 2005)

Viegas et al (2006) demonstraram fundamentos do projeto piloto de redução de perdas de água e de desperdício de energia elétrica no sistema de abastecimento de Rio Pardo, operado pela CORSAN, no qual o diagnóstico das perdas reais foi realizado através das VMN. Hunaidi e Brothers (2007) realizaram estudos de perdas reais em um setor na cidade de Ottawa, no Canadá, no qual alcançaram valores de parâmetros de vazamento, utilizando as VMN.

4.7.2. Calibração de modelos hidráulicos

De acordo com Shamir e Howard (1977), a calibração de um modelo hidráulico, consiste em buscar características físicas e operacionais de um determinado sistema, obtendo dados de modo que, após serem inseridos dentro do modelo, venham a produzir resultados próximos do realista.

Já para Walski (1983), é um processo de comparação entre as pressões simuladas e aquelas observadas em campo, onde posteriormente serão ajustados os dados de entrada para o ajuste entre os valores. Para Cesario e Davis (1984) é o processo de ajuste fino de modelo até que esse simule as condições observadas em campo para determinado tempo.

Segundo Soares (2004), o procedimento geral para calibração de um modelo de rede pode ser dividido em seis etapas:

- Obtenção dos dados cadastrais do sistema em estudo;
- Inspeção do local para instalação de equipamentos;
- Medidas de campos preliminares;
- Exercício de medida de campo;
- Entrada de dados da rede para uma análise de computador;
- Calibração.

4.7.2.1. Métodos Explícitos

A calibração de forma explícita é realizada através da resolução analítica do sistema de equações não lineares onde a quantidade de dados conhecido (vazão e/ou pressão) deve ser igual ao número de parâmetros desconhecidos.

Walski (1983) agrupa tubulações com que apresentam as mesmas características, adotando uma única perda de carga para este grupo a partir de vazões e pressões observadas em hidrantes para duas condições de escoamento distintas.

Ormsbee e Wood (1986) formulam um algoritmo baseado em termos de coeficientes de perda de carga, onde os valores de pressão ou vazão são ajustados até o momento da convergência dos valores obtidos em campo.

Em 2001, Cheung propôs um estudo comparativo entre as diversas técnicas de calibração apresentadas por Walski (1983), Bhave (1988) e Boulos e Wood (1990). Neste trabalho, o autor propôs a utilização do simulador hidráulico desenvolvido por Souza (1994).

4.7.3.2. Métodos Implícitos

A calibração de forma implícita consiste na minimização de uma função objetivo, envolvendo o módulo da diferença dos dados simulados e observados.

Em 1989, Ormsbee desenvolve um algoritmo de otimização não-linear. Sua principal vantagem é a consideração tanto de situações de carga em regime permanente quanto em operação estendido. Isso permite ao usuário um embasamento consistente para avaliar previamente os parâmetros antes de serem aplicados ao modelo da rede. No exemplo do autor, os melhores resultados foram obtidos através de um processo de calibração em duas etapas: na primeira, os valores de rugosidade das tubulações são calibrados com base nas condições de carga do regime permanente (alta perda de carga), enquanto que na segunda fase, a distribuição de demandas é calibrada com as condições de carga do período em operação estendido (baixa perda de carga).

Lansey e Basnet (1991) apresentam um rigoroso algoritmo de programação não-linear, similar à apresentada por Ormsbee (1989), para identificar coeficientes de rugosidade, abertura de válvulas e demandas nodais de uma rede hidráulica. O princípio do método é minimizar a diferença entre os dados observados e aqueles simulados pelo computador, através de um esquema de otimização.

Visando a calibração de redes mais complexas, foram desenvolvidas técnicas numéricas baseadas no princípio da evolução natural proposta por Charles Darwin no século 19, os Algoritmos Genéticos (AGs). Os AGs são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e da genética. Sua estratégia é baseada na busca paralela e estruturada, mas de forma aleatória, voltada na busca de pontos de "alta aptidão", ou seja, pontos nos quais a função a ser minimizada ou maximizada tem valores relativamente baixos ou altos.

Estas técnicas foram desenvolvidas e aplicadas por Savic e Walters (1997) para determinação do coeficiente de rugosidade das tubulações de uma rede hidráulica real ao invés de utilizarem o procedimento de tentativa e erro, produzindo resultados mais eficientes.

Em 2000, Gambale utilizou AG's para a calibração do coeficiente de *Hazen-Williams*, de uma rede hipotética, utilizando o simulador hidráulico EPANET. Suas conclusões com o desenvolvimento da calibração mostraram que a quantidade da população de soluções influencia significativamente na qualidade dos resultados obtidos, não sendo necessário monitorar todos os nós de uma rede para calibrá-la.

5. METODOLOGIA

5.1. Escolher um SAA

É necessário escolher um sistema de abastecimento de água que forneça toda uma estrutura para se trabalhar em cima, com grande disponibilidade de dados e que apresente setores com altos índices de perdas.

5.2. Escolher um setor

O critério de escolha do setor de estudo deste trabalho se dará pelo índice percentual de perdas (IP) de todos os setores que compõe o sistema de abastecimento de água escolhido para realização do estudo.

5.3. Levantar dos dados cadastrais e operacionais do setor em estudo

É necessário levantar diversos dados do setor em estudo tais como: funcionamento do mesmo, perfil de consumo diário, dados das tubulações (comprimento, diâmetro e material), reservatórios, estações elevatórias, singularidades na rede, topografia, dados de macro e micromedição.

5.4. Modelar o setor utilizando o software EPANET

Para modelar o setor em estudo, será utilizado o simulador hidráulico EPANET. O EPANET foi desenvolvido pela EPA – *Environmental Protection Agency* dos Estados Unidos que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico das redes de abastecimento de água (ROSSMAN, 2000).

O EPANET permite obter os valores da vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos intervalos de cálculo. Adicionalmente, além de espécies químicas, o modelo simula o cálculo da idade da água e o rastreamento da origem de água em qualquer ponto da rede (ROSSMAN, 2000). A figura 4.12 ilustra os principais componentes físicos do EPANET.

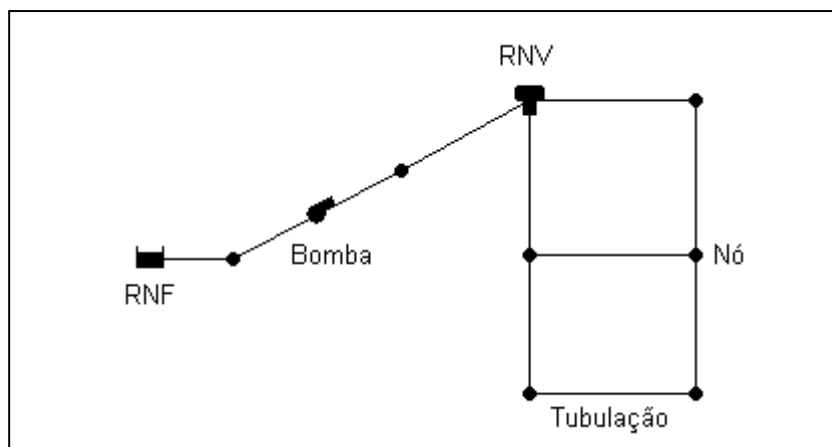


FIGURA 5.1 – Principais componentes físicos do EPANET

- O RNF (Reservatório de Nível Fixo): São nós especiais que representam um volume de armazenamento de água, de capacidade ilimitada e carga hidráulica constante. São utilizados para simular locais de captação de água;
- Bomba: Como o próprio nome já diz são dispositivos que recalcam água de um ponto com cota menor para outro de cota maior;
- RNV (Reservatório de Nível Variado): São também nós especiais da rede, possuindo uma capacidade de armazenamento limitada, podendo variar o volume de água armazenada ao longo da simulação;
- Nós: são os pontos da rede onde os trechos se ligam entre si e onde a água entra e sai da rede. É nos nós que representamos o consumo de uma determinada área de influência dentro da rede;
- Tubulação: São trechos que carregam água sob pressão durante a simulação.

O uso do EPANET neste trabalho deu-se pelo fato de o mesmo ser um software livre, possuir o código aberto e possuir um fácil entendimento para os iniciantes em modelagem. Devido a estes fatores é, indiscutivelmente, o programa de modelagem hidráulica e de qualidade de água mais empregado no mundo.

5.5. Instrumentar o setor em estudo através de campanhas de campo

Visando a coleta de dados de campo, é necessário instrumentar o setor em estudo com equipamentos de vazão e pressão. Estes dados serão importantes tanto para o método das Vazões Mínimas Noturnas quanto para a calibração.

5.6. Calibrar o modelo utilizando o EPANET Calibrador através dos resultados observados em campo

Após o traçado do setor no EPANET, é necessário calibrá-lo, utilizando o EPANET Calibrador. Para tanto, utilizou-se o EPANET Calibrador User's Guide, que ensina passo a passo as etapas de calibração utilizando o referido software.

- **Criação de setores:** Um setor representa uma região em que todas as tubulações possuem o mesmo tipo de material. Quanto mais precisa for esta setorização, melhor será a calibração.

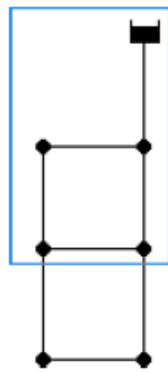


FIGURA 5.2 - Criação de um setor para calibração (EPANET CALIBRATOR USER'S GUIDE, 2008)

- **Inserção de dados de pressão e vazão:** Com os dados observados de vazão e pressão em campo, devem-se inserir os dados de pressão nos referidos nós e inserir dados de vazão nos referidos trechos monitorados.

Hour	Pressure (mWC)
1	30
2	30
3	30
4	30
5	30
6	33
7	40
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	

FIGURA 5.3 - Tela de inserção de dados (EPANET CALIBRATOR USER'S GUIDE, 2008)

- **Calibração do setor:** Depois de seguidas as etapas anteriores, é realizada a calibração do setor. Após a calibração, o programa gerará um arquivo denominado calibrated.inp, com os resultados finais do processo descrito.

Com a vantagem de ser um software de código aberto, Narumi Abe e Peter Cheung, desenvolveram pelo Laboratório Virtual para Computação Científica e Tecnológica aplicada ao Saneamento Ambiental (RESAN LAB), na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, o EPANET Calibrator, uma versão modificada do EPANET. O software formula o problema de calibração através do método inverso

utilizando algoritmos genéticos, minimizando os desvios entre os valores de pressão e vazão, observados e simulados hidraulicamente, segundo a equação:

$$\min_Z^{FO} = \sum_{t=1}^{n^{PD}} \left[\sum_{j=1}^{n_t^P} \frac{(P_{t,j} - P_{t,j}^*)^2}{\left(\sum_{i=1}^{n_t^P} P_{t,i}^* / n_t^P \right)^2} + \sum_{j=1}^{n_t^Q} \frac{(Q_{t,j} - Q_{t,j}^*)^2}{\left(\sum_{i=1}^{n_t^Q} Q_{t,i}^* / n_t^Q \right)^2} \right] \quad (5.1)$$

sendo n^{PD} o número de padrões de demanda observados, n_t^P o número de observações de pressões realizadas para o padrão t , n_t^Q o número de observações de vazões realizadas para o padrão t , P as pressões simuladas, P^* as pressões observadas, Q as vazões simuladas, Q^* as vazões observadas e Z o conjunto de todas as variáveis de decisão do problema, dado por:

$$Z = (\theta_1, \dots, \theta_{n_\theta}, \beta_1, \dots, \beta_{n_\beta}, K_1, \dots, K_{n_T}) \quad (5.2)$$

sendo θ o coeficiente de perda do modelo de vazamentos, β o expoente de perda do modelo de vazamentos, K o coeficiente de perda de carga localizada devido à presença de singularidades nas tubulações (registros, válvulas ou tubos incrustados), n_T o número de singularidades supostamente presentes na rede, n_θ e n_β o número de setores com coeficiente e expoente de vazamento homogêneos, respectivamente.

5.7. Calcular os erros gerados pela calibração

Após realizar a calibração, os erros gerados entre os dados simulados e observados e calibrados e observados serão calculado de acordo com a equação:

$$EMA = N^{-1} \sum_{i=1}^N |Pi - Oi| \quad (5.3)$$

onde N representa o número de dados, Pi , representa os dados simulados ou calibrados e Oi representa os dados observados em campo.

5.8. Quantificar as perdas reais do setor

5.8.1. Via Mínimas Noturnas

O método é baseado na variação dos consumos ao longo do dia. Em geral, o pico de consumo de água ocorre entre 11h00min e 14h00min e o consumo mínimo acontece entre 03h00min e 04h00min. Em um estudo realizado à SABESP –

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Lambert (2002) ilustra o perfil do consumo durante a madrugada (figura 5.4).

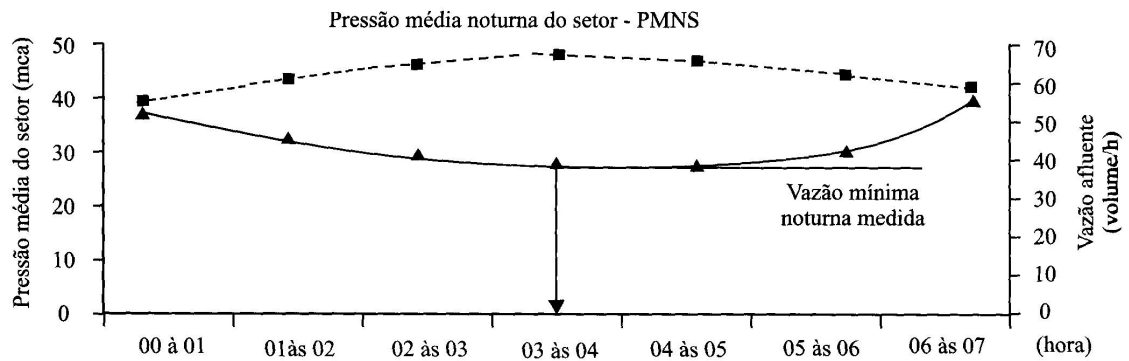


FIGURA 5.4 – Análise dos componentes da vazão média mínima noturna (LAMBERT, 2002)

Para determinação do Volume Diário de Perdas Reais (VDPR) no setor, utiliza-se a seguinte equação:

$$VDPR = FND \times Q_{mn} \quad (5.4)$$

onde FND representa o “Fator Noite/Dia” dado em h/dia e Q_{mn} é a vazão média mínima noturna dada em m³/h. O “Fator Noite/Dia” é determinado a partir de um somatório de medições de pressão, ao longo de 24 horas, em um ponto médio representativo do setor, utilizando a seguinte relação:

$$FND = \sum \left(\frac{P_{i_{24hs}}}{P_{3às4hs}} \right)^{N_1} \quad (5.5)$$

onde $P_{i_{24hs}}$ representa a média das pressões ao longo de 24 horas medida de hora em hora, $P_{3às4hs}$ representa a pressão medida na entrada do setor na campanha de mínima noturna das 03h00min às 04h00min. Já o N_1 pode ser calculado, segundo a relação abaixo:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N_1} \quad (5.6)$$

onde Q_0 é a vazão associada a pressão P_0 e Q_1 é a vazão final associada a pressão P_1 . O expoente N_1 é obtido a partir do fechamento do registro (manobra) de entrada de água no setor em três etapas. Ensaios realizados em diversos países chegaram aos seguintes valores para o expoente N_1 : 0,5 para tubos metálicos e de 1,5 a 2,5 para tubos plásticos. (TARDELLI FILHO, 2006).

A segunda parcela da equação 4.8, Q_{mn} , representa a vazão média mínima noturna do setor durante o período das 3h00min às 4h00min, mostrado na figura 5.4.

Para realização deste método, é preciso seguir algumas recomendações, tais como:

- Garantir que o setor esteja totalmente fechado (estanque), não permitindo contribuição de outro setor de abastecimento;
- Realizar o teste entre as 02h00min e 04h00min da manhã, onde parte-se do pressuposto que não há consumo dos usuários e que as caixas d'água já estão cheias;
- Fazer um levantamento de possíveis grandes consumidores noturnos específicos como grandes consumidores, casas de recreação noturna, indústrias, etc. Estes consumidores com utilizações excepcionais devem ser monitorados com registradores eletrônicos de vazão, cujo consumo deve ser descontado da vazão de entrada;
- Determinar um ponto médio de pressão do setor, levando-se em consideração não a cota média, mas o ponto de maior concentração de ramais ou quaisquer outras singularidades. Sabendo-se que a probabilidade da existência de vazamentos é muito maior nos ramais, definir o ponto médio dentro desta referência nos dá a certeza de determinarmos a média das pressões atuantes nos vazamentos.

5.8.2. Via Epanet Calibrator

Depois de calibrado, o EPANET Calibrator gerará nós aleatórios dentro do setor em estudo com uma propriedade chamada “Coeficiente Emitters”. Serão através destes coeficientes que serão calculadas as perdas reais diárias. O cálculo da vazão dos vazamentos é dado, segundo Rossman (2000), como:

$$q = CE.H^{0,5} \quad (5.7)$$

onde q representa a vazão dos vazamentos, em m³/hora, CE representa o Coeficiente Emitters gerado pela calibração do EPANET Calibrator e H representa a pressão no nó, em m.c.a.

5.9. Comparar os resultados obtidos com as duas técnicas e com outros SAA

Após obter os resultados das perdas reais com as duas técnicas abordadas no estudo, será feita uma comparação dos resultados entre si e posteriormente uma comparação do setor em estudo com outros sistemas de abastecimento de água pelo Brasil

5.10. Propor ações de controle e redução de perdas.

De acordo com os resultados obtidos, serão propostas ações de controle e redução de perdas de acordo com as características encontradas no setor em estudo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Escolha do SAA

O local de estudo escolhido para realização deste trabalho foi a Autarquia de saneamento SIMAE - Serviço Intermunicipal de Água e Saneamento dos municípios catarinenses de Capinzal e Ouro. Sua criação deu-se no ano de 1972, através das Leis Nº 654 e Nº 179 das Prefeituras Municipais de Capinzal e Ouro respectivamente. Até o presente momento da conclusão deste trabalho, somente Capinzal/Ouro e Joaçaba/Herval D'Oeste/Luzerna possuem este tipo de serviço intermunicipal no Brasil.



FIGURA 6.1 - Entrada da sede administrativa da SIMAE



FIGURA 6.2 - Entrada da ETA em anexo à SIMAE

A SIMAE de Capinzal/Ouro foi contemplada com financiamentos da FUNASA – Fundação Nacional de Saúde de um projeto intitulado “*Uso associado de técnicas computacionais e de experimentação voltado ao gerenciamento de perdas em sistemas de abastecimento de água*”. Este projeto está sendo desenvolvido no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental no Laboratório de Simulação Hidráulica de Infra-Estruturas Urbanas - RESAN com a supervisão do professor Peter Batista Cheung. Sua duração prevista é de dois anos (2007 a 2009), com objetivo geral de desenvolver um protocolo de ações para avaliação das perdas (reais e aparentes) no sistema de abastecimento de água da região e a otimização dos sistemas elevatórios para redução dos custos com energia elétrica, apoiado em tecnologias computacionais de baixo custo, utilizando o EPANET (software livre).

Os municípios de Capinzal e Ouro estão localizados no baixo vale do Rio do Peixe no meio oeste do estado de Santa Catarina. Na figura 6.3 podemos localizar os municípios em âmbito nacional e estadual.



FIGURA 6.3 – Localização dos municípios de Capinzal e Ouro (GES, 2008)

O município de Capinzal (figura 6.4), com seus 244.469 km², possui 18.465 habitantes, segundo dado do censo do IBGE, em 2007. Sua economia é baseada na indústria e na agropecuária, sendo sede de uma das maiores agroindústrias do país, a Perdigão.



FIGURA 6.4 - Município de Capinzal



FIGURA 6.5 - Município de Ouro

Do outro lado da margem do Rio do Peixe está localizado o município de Ouro (figura 6.5). Com 7.095 habitantes, segundo dado do censo do IBGE, em 2007, e uma área de 206.299 km², o município destaca-se pela sua agricultura, indústria e turismo. Seu parque industrial encontra-se em plena extensão com mais de 230 indústrias instaladas no município.

6.2. Caracterização do SAA Capinzal/Ouro

O sistema como um todo atende cerca de 26.000 pessoas. A captação de água é realizada no Rio do Peixe cuja nascente principal localiza-se no município de Calmon-SC a uma altitude de 1.250 m. Sua foz encontra-se a altitude de 387 m, em Alto Bela Vista, no reservatório de acumulação de água formado para a geração de energia da hidrelétrica de Ita no Rio Uruguai (LINDNER, 2007).

A água proveniente da captação é então recalçada por duas bombas que a levam até a ETA – Estação de Tratamento de Água localizada em anexo à sede administrativa da SIMAE em Capinzal. O tratamento utilizado para limpeza da água é do tipo convencional, sendo que a estação trata 75 L/s, quando ambas as bombas estão operando. Depois de devidamente tratada, a água sai da ETA é armazenada em dois reservatórios com capacidade total de 800 m³. A partir destes reservatórios a água é distribuída por gravidade através de três derivações: uma delas sai para abastecer o município de Ouro e parte de Capinzal, outra derivação abastece a parte mais alta da cidade e a última abastece a região de estudo do trabalho. Esta distribuição total de água é realizada através de 11 estações elevatórias e 18 reservatórios.

6.3. Escolha do setor de estudo

O local escolhido para realização do estudo foi o bairro da Subestação (figura 6.6), localizado na entrada da cidade de Capinzal. Seu nome é devido à presença da subestação da CELESC na localidade. Sua escolha baseou-se no Índice Percentual médio dos primeiros seis meses nos setores do SAA de Capinzal/Ouro.



FIGURA 6.6 - Vista geral do setor da Subestação



FIGURA 6.7- Macromedidor do setor da Subestação

Pelos resultados observados na tabela 6.1, temos que o setor da Subestação é o segundo da lista com o maior índice de perdas, perdendo apenas para o setor de São Roque.

Conforme o cadastro operacional do setor, todo ele encontra-se estanque hidraulicamente e possui um macromedidor eletromagnético (figura 6.7) da marca SIEMENS instalada na sua saída, para monitoramento das vazões. O diâmetro da tubulação onde o aparelho está instalado é de 80 mm. Este diâmetro permite registrar vazões na faixa 4 a 400 m³/h com boa precisão, de acordo com o catálogo do fabricante.

TABELA 6.1 - Índice Percentual médio para os meses de janeiro a junho de 2008, dos setores do SAA de Capinzal/Ouro

Setor	Índice Percentual
Bairro Alvorada	15
Bairro do Colégio	19
Bairro Santa Maria	33
Bairro São Cristóvão	4
Bairro São Luiz	32
Caravágio	15
Centro de Ouro	7
Coxilha Seca	22
Ernesto Hachman	29
Jacob Dorini	23
Lar Imóveis	24
Leonardo Spadini	27
Loteamento Arco Íris	24
Loteamento Fernanda	28
Loteamento M.R	16
Loteamento Parizoto (frente)	14
Loteamento Parizoto (fundo)	24
Navegantes (alto)	5
Navegantes (baixo)	27
Nereu Ramos	15
Parque (baixo)	17
Parque (cima)	22
Presidente Kennedy	28
Saída Geral	1
São Roque	50
Subestação	34
Verde Vale	33
Vila Sete	9

6.4. Levantamento de informações cadastrais e operacionais

A tabela 6.2 mostra as informações levantadas no setor da Subestação.

TABELA 6.2 - Relação das informações cadastrais e operacionais do setor da Subestação para o mês de outubro/2008

Material das tubulações	PVC/PBA
Extensão total das tubulações	6724 metros
Diâmetro das tubulações	De 20 à 100 mm
Número de ligações (ramais)	470
Número de economias residenciais	427
Número de economias comerciais	24
Número de economias públicas	4
Número de economias industriais	2
Volume macromedido	7129 m ³
Volume micromedido	4681 m ³

Segundo Tsutiya (2006) o consumo de água deve ser categorizado em economias residenciais, comerciais, públicas e industriais, uma vez que as economias residenciais possuem um padrão de consumo diferente dos consumidores industriais. As duas únicas indústrias não representam grandes consumidores uma vez que ambas retiram a maior parte de suas águas de poços artesianos, usando pouca água da autarquia. Já as economias comerciais e públicas não mostraram um padrão de consumo diferente do padrão residencial. Por isso, será usado apenas um padrão de demanda em todo o setor.

Para obtenção do padrão de demanda do consumo de água das cidades, foi feito um levantamento de dois anos de medição dos macromedidores de vazão, 2006 e 2007, através do banco de dados do supervisor. Com a ajuda do software MatLab, foi construída uma rotina para filtrar apenas os dados completos de cada dia. Com isso, foram construídos padrões de consumo para todos os macros e construída uma curva média (figura 6.8)

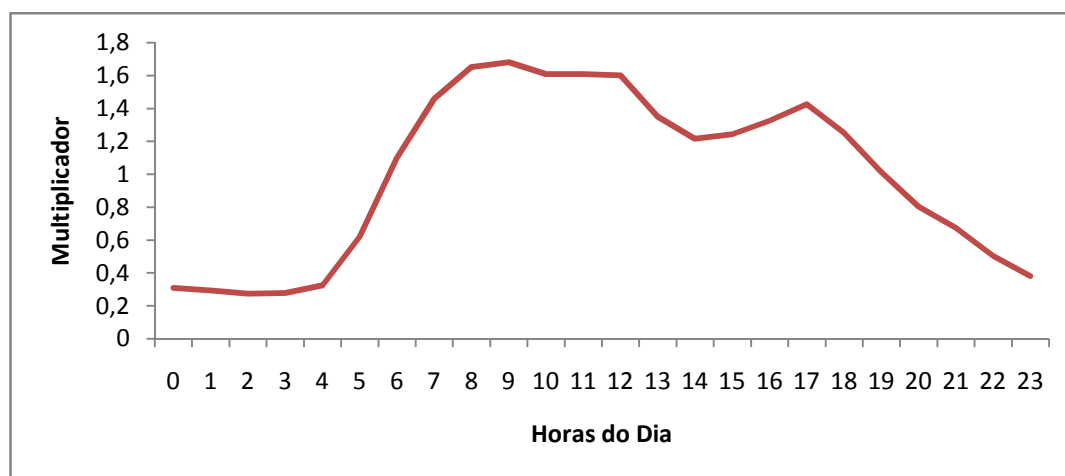


FIGURA 6.8 – Padrão de consumo do setor da Subestação

6.5. Funcionamento do setor da Subestação

Após a água ser tratada e armazenada para distribuição, uma de suas derivações é recalçada pela Casa de Bomba-06 e abastece dois reservatórios da seguinte maneira: parte da água entra e abastece o RS-6B e outra parte abastece o RS-6A (distribuição em marcha). A bomba funciona até o momento em que o RS-6A está totalmente cheio. A partir deste momento, o RS-6B é abastecido pelo RS-6A, até o momento em que o nível do reservatório de montante atinge 80% do seu nível. Com isso a bomba é novamente religada e repete-se o processo. O RS-6B funciona, na verdade, como uma caixa de passagem para o abastecimento de três setores: São Luiz, Subestação e Jacob Dorini. As entradas dos três setores são monitoradas por macromedidores de vazão. A figura 6.9 mostra este esquema de funcionamento.

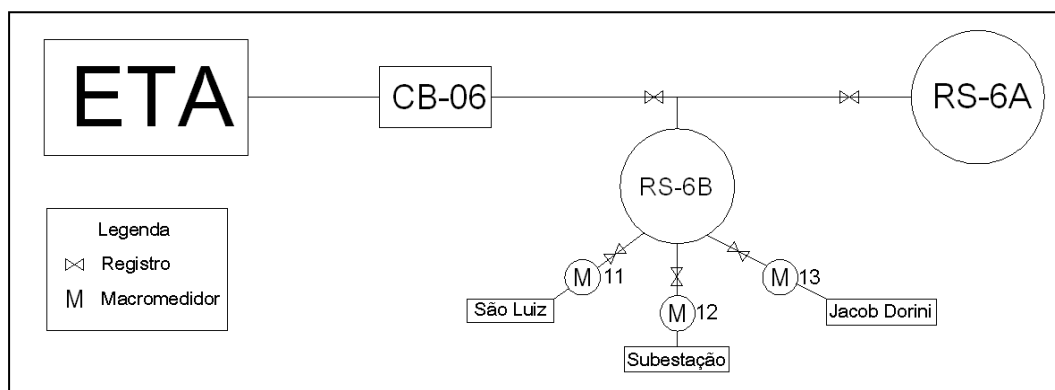


FIGURA 6.9 - Funcionamento do Setor Subestação

6.6. Construção do modelo em EPANET

Após coletar todas as informações necessárias, construiu-se o setor da Subestação no EPANET. Objetivando uma simplificação da entrada de água no setor, foi utilizado apenas um reservatório de nível fixo, no lugar do reservatório RS-6B (nível variado). Isto faz com que o nível da água não varie, sendo que toda a água que o setor demandar, o reservatório atenderá. Depois do reservatório, foram alocados os nós ao longo dos trechos e posteriormente conectados com as tubulações.

6.7. Instrumentar o setor da Subestação

Para a realização da coleta de dados de vazão, não foi necessário instalar nenhum medidor de vazão, uma vez que a entrada de água no setor já era monitorada por um macromedidor de vazão. Já para coletar dados de pressão, foi necessário instalar equipamentos em campo. Os dataloggers instalados foram da marca *Compuway MaxxiLoggers* (figura 6.10) e o software utilizado para descarregar os dados dos equipamentos foi o *Compuway MaxxiReader 2.29*.



FIGURA 6.10 – Datalogger de medição de pressão

Antes da instalação dos equipamentos de pressão, foi realizada uma vistoria em todo o setor para localizar alguns pontos ideais para a instalação dos mesmos. Para não haver nenhum tipo de influência nas medições, o local ideal de instalação seria na própria rede, mas seria necessário cortar o asfalto e construir uma caixa de inspeção para o aparelho. Este tipo de procedimento é caro e demanda certo tempo.

Visando simplificar as medições, a instalação dos equipamentos foi realizada nos cavaletes dos hidrômetros residenciais (figuras 6.11 e 6.12). Este procedimento pode mascarar um pouco a medição, devido ao consumo residencial. Para tanto, foram escolhidas residências que possuíam baixo consumo durante o dia, de acordo com os depoimentos dos usuários, além dos mesmos possuírem seus hidrômetros dentro do próprio terreno, com abrigo e pouca visibilidade para a rua, evitando assim a exposição do aparelho e possíveis danos ou roubo do mesmo.



FIGURA 6.11 - Datalogger de pressão instalado no cavalete residencial (a)



FIGURA 6.12 - Datalogger de pressão instalado no cavalete residencial (b)

Na figura 6.13, tem-se a localização dos pontos de instalação dos dataloggers de pressão para coleta de dados tanto para a calibração quanto para as Vazões Mínimas.

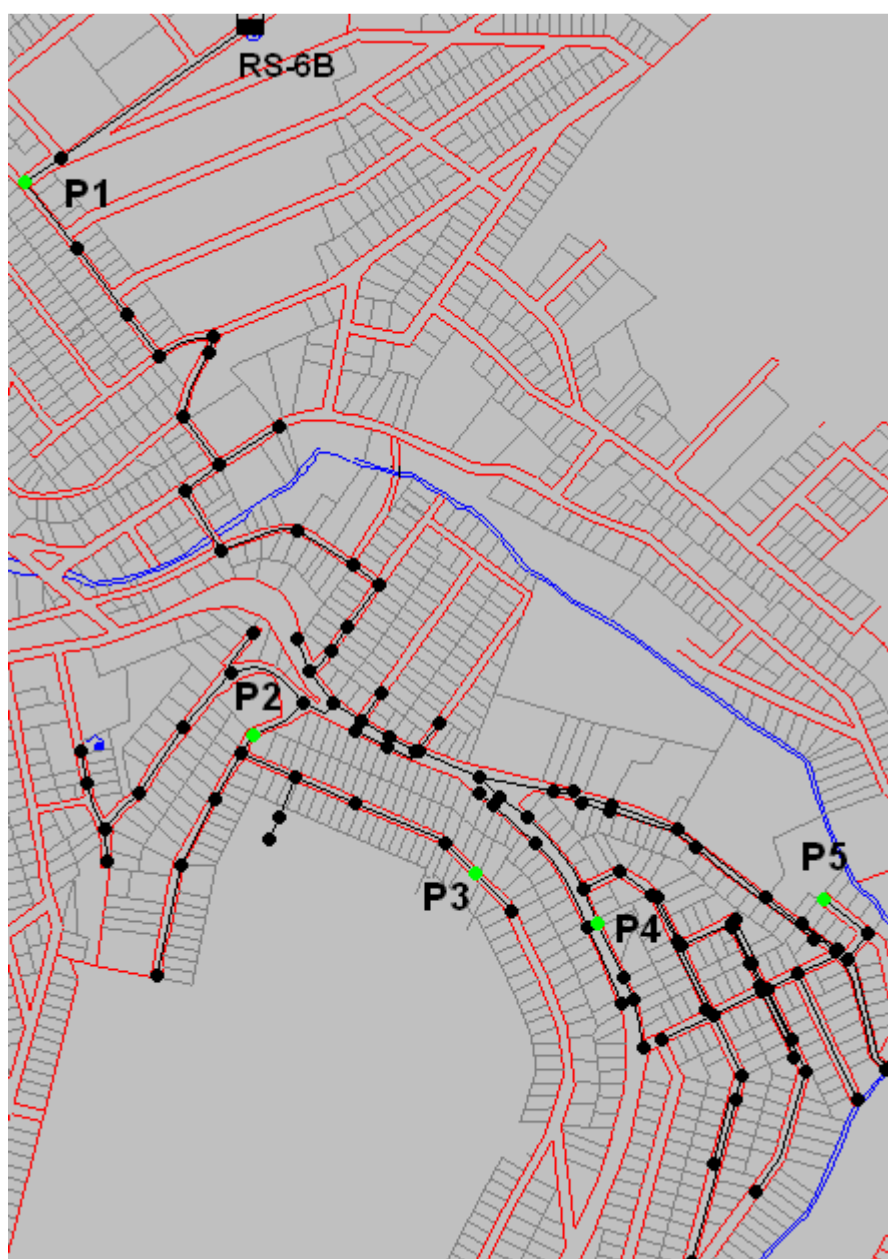


FIGURA 6.13 - Localização dos pontos monitorados no setor da Subestação para coleta de dados de pressão

TABELA 6.3 – Identificação e cotas dos pontos monitorados

Identificação dos Pontos	Localização dos Pontos	Cota (m)
RS-6B	Entrada de água no setor	581,00
P1	Saída do RS-6B	531,34
P2	Subestação da CELESC	506,04
P3	Rua Máximo Toaldo	527,93
P4	Rua Antônio Macarini	530,00
P5	Rua Joaquim Gralha	478,00

- **RS-6B:** Reservatório que distribui água para o setor. Não há nenhum outro ponto de entrada de água;
- **Ponto 1:** Representa as primeiras ligações do setor e possui baixa variação das pressões;
- **Ponto 2:** Localizado na subestação da CELESC, apresenta valores intermediários de pressões;
- **Ponto 3:** Localizado em uma ponta de rede, apresenta valores baixos de pressões;
- **Ponto 4:** Localizado em um trecho crítico de vazamentos, apresenta valores baixos de pressões e uma boa concentração de ramais;
- **Ponto 5:** Localizado em outra ponta de rede, apresenta um dos mais altos valores de pressões.

6.8. Levantamento das perdas reais

6.8.1. Calibração

Durante os dias 21 e 22 de outubro, foram instalados no setor da Subestação, os dataloggers de pressão para coleta de 24 horas de dados. Os equipamentos foram ajustados para uma taxa de leitura horária.

Para iniciar a calibração, é necessário criar setores dentro do próprio setor, de acordo com o material da tubulação. Como toda a rede é constituída de PVC, adotou-se o critério das pressões e da distribuição da água. A figura 6.14, mostra essa setorização, juntamente com as faixas de pressão que compõe o setor da Subestação.

Após 24 horas de medição, foi-se a campo recolher os equipamentos e descarregá-los no computador. Para cada ponto monitorado, foi criado um arquivo.CSV para ser inserido no EPANET Calibrator. Além dos pontos de pressão, foi inserido um dado de vazão, logo na saída do RS-6B.

O modelo obteve uma simulação bem sucedida, utilizando um computador pessoal da marca ITAUTEC com processador Mobile Dual Core Intel Pentium T2330, 1600 MHz (12x133) e memória de 2038 MB DDR2-667 DDR2 SDRAM.

A tabela 6.4 mostra o ajuste dos coeficientes de rugosidades dos grupos criados na figura 6.14 após a calibração.

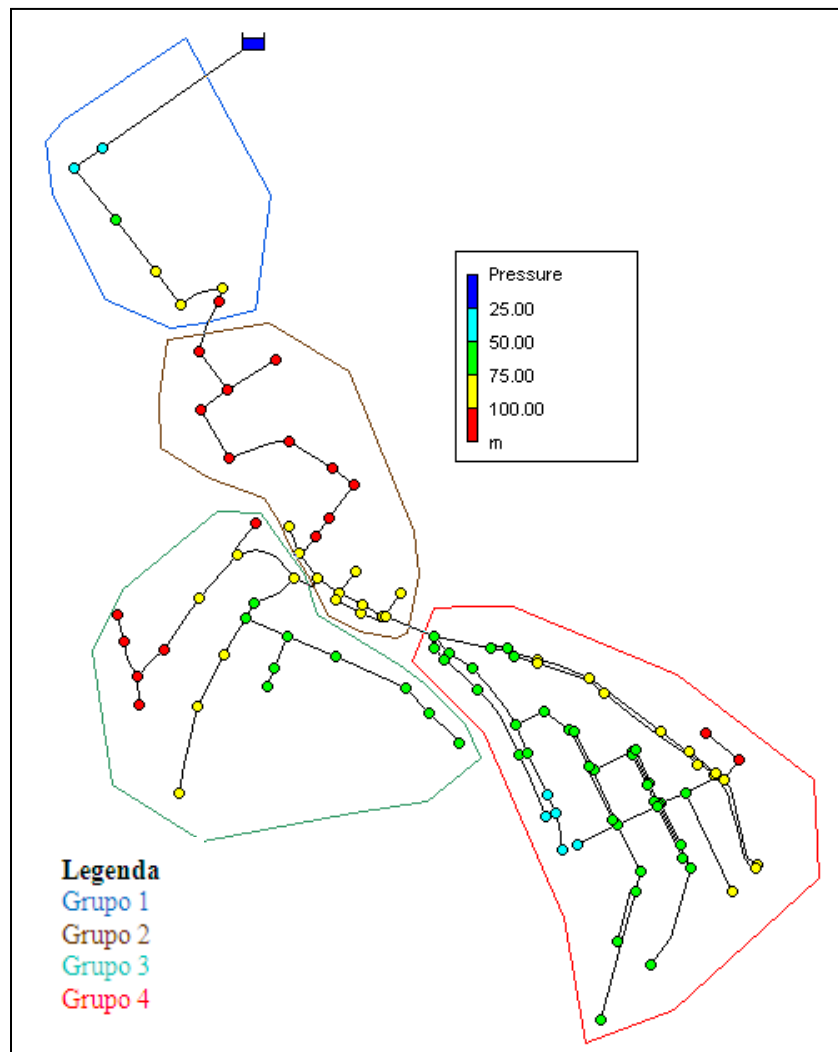


FIGURA 6.14 – Setorização da rede para calibração com as faixas de pressão

TABELA 6.4: Relação dos coeficientes de rugosidades antes e após a calibração

Rugosidade/Grupos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Antes da calibração	160,00	160,00	160,00	160,00
Após a calibração	85,00	83,42	83,42	136,00

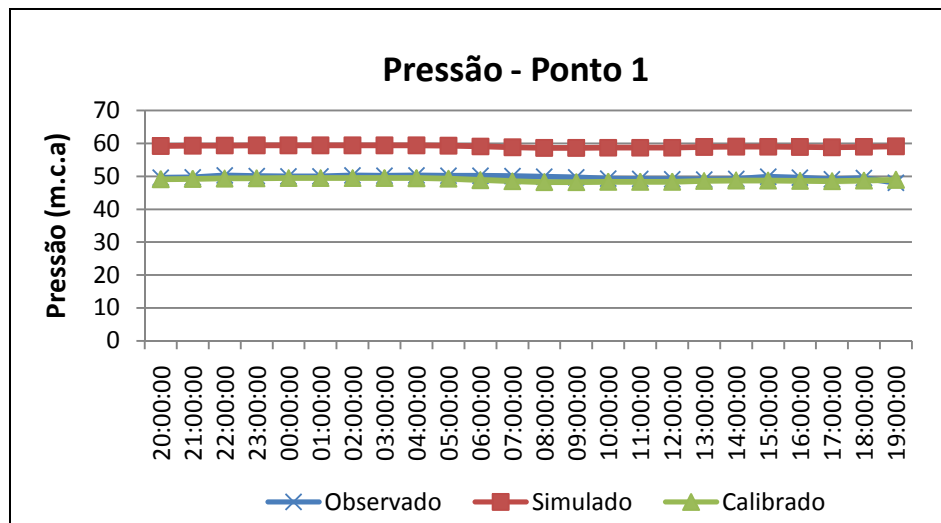


FIGURA 6.15 – Dados simulados, observados e calibrados de pressão para o Ponto 1

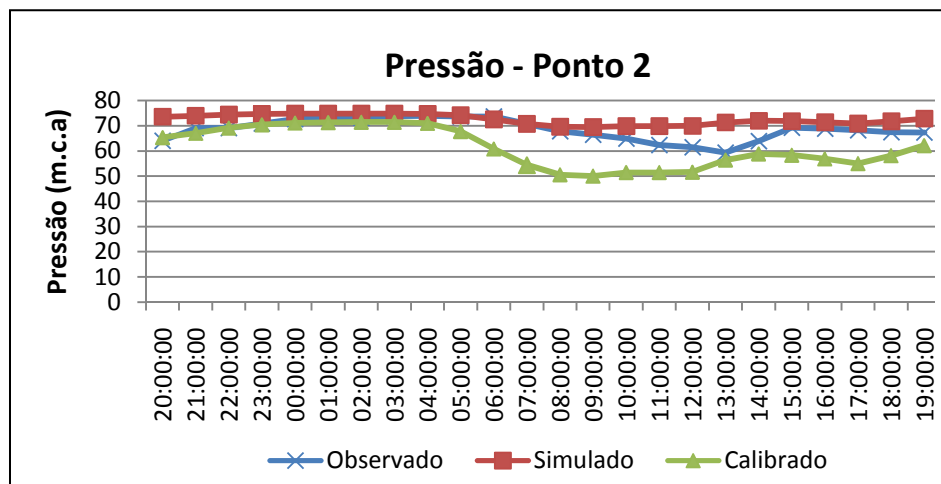


FIGURA 6.16 – Dados simulados, observados e calibrados de pressão para o Ponto 2

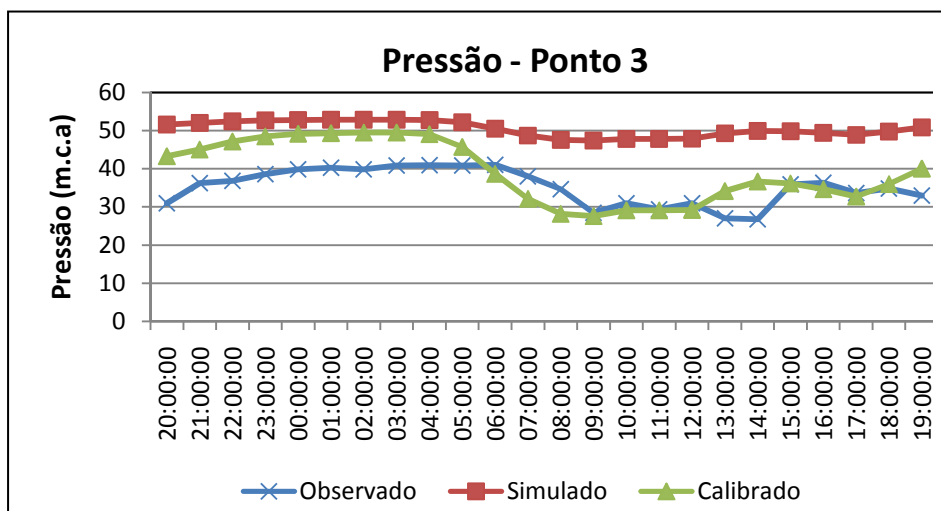


FIGURA 6.17 – Dados simulados, observados e calibrados de pressão para o Ponto 3

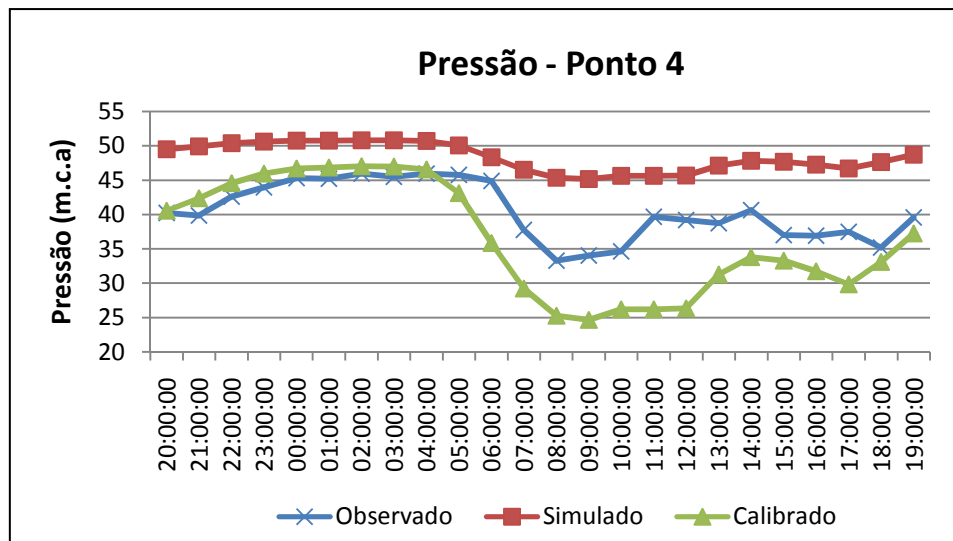


FIGURA 6.18 – Dados simulados, observados e calibrados de pressão para o Ponto 4

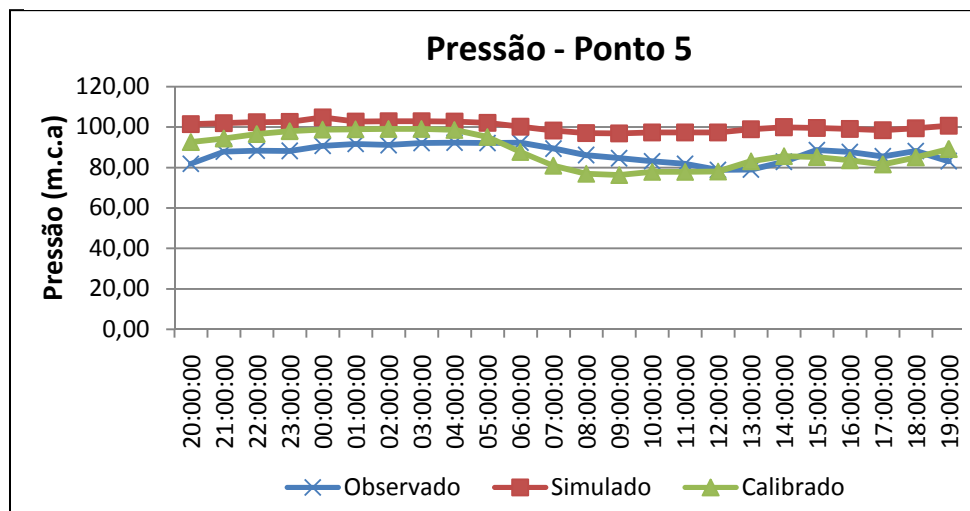


FIGURA 6.19 – Dados simulados, observados e calibrados de pressão para o Ponto 5

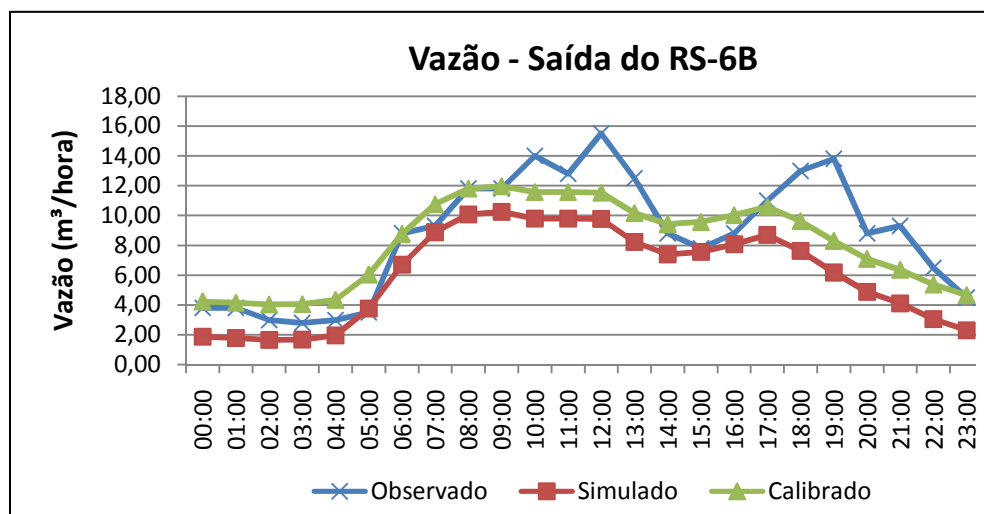


FIGURA 6.20 – Dados simulados, observados e calibrados de vazão para a saída do RS-6B

Da figuras 6.15 até 6.19 são mostrados os dados de pressão simulados antes da calibração, os dados observados em campo e os dados calibrados. Já a figura 6.20 mostra os dados referentes à vazão de saída do RS-6B.

Analisando os gráficos acima, pode-se notar que os dados calibrados de pressão ficaram abaixo do simulado visto que o EPANET na sua simulação trabalha com perda zero. Isto faz com que a pressão seja maior na simulação. Quando se calibra a rede, o programa simula alguns pontos de vazamentos, logo a pressão diminui. Durante a calibração, o EPANET Calibrator tenta ajustar uma curva entre os dados observados e simulados Mas em nem todos os gráficos, a pressão calibrada ficou nesta faixa. Isto pode ser notado nos Pontos 2 e 4.

O gráfico da vazão de saída de água do RS-6B obteve uma boa calibração. Agora percebe-se que neste caso os papéis se invertem. Enquanto antes, a pressão simulada era maior se comparado com a calibrada e observada, agora a vazão simulada é menor em comparação com os outros dados pelo fato do EPANET em sua simulação não trabalhar com perdas. Sem perdas na rede, a vazão fica menor. Quando calibra-se, são simulados vazamentos, logo a vazão tende a aumentar.

Apenas observar os valores de vazão e pressão observados, simulados e calibrados através de gráficos não é suficiente para uma análise mais precisa. Por isso, foi calculado o erro (equação 5.3) entre os dados simulados e observados e entre os dados calibrados e observados (tabela 6.5).

TABELA 6.5 - Cálculo do Erro Médio Absoluto para os dados de vazão e pressão

Erros / Pontos	Saída RS-6B	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
Dados Simulados						
Erro Médio Absoluto	2,63	9,42	3,93	15,16	7,92	13,35
Dados Calibrados						
Erro Médio Absoluto	1,56	0,85	7,37	5,76	5,02	5,99

Analisando os erros calculados na tabela 6.5, pode-se constatar de forma mais clara e em termos numéricos o que já foi observado antes. Percebe-se que após a calibração o Erro Médio Absoluto dos pontos analisados obteve uma boa melhora, exceto nos Pontos 2 e 4. Mas os dados revelaram que apesar do Ponto 4 não possuir sua curva calibrada entre os dados simulados e observados, ele obteve uma pequena melhora, em termos de média. Já o Ponto 2 se distanciou ainda mais com a calibração. O ponto que apresentou uma calibração muito boa foi o Ponto 1. Isto se deve pelo fato da pressão ser praticamente constante ao longo do dia.

Depois de calibrado, o EPANET Calibrator gerou 14 nós contendo os Coeficientes Emitters, no valor de 0,024 para simular os vazamentos no setor. A figura 6.21, mostra a localização destes nós.

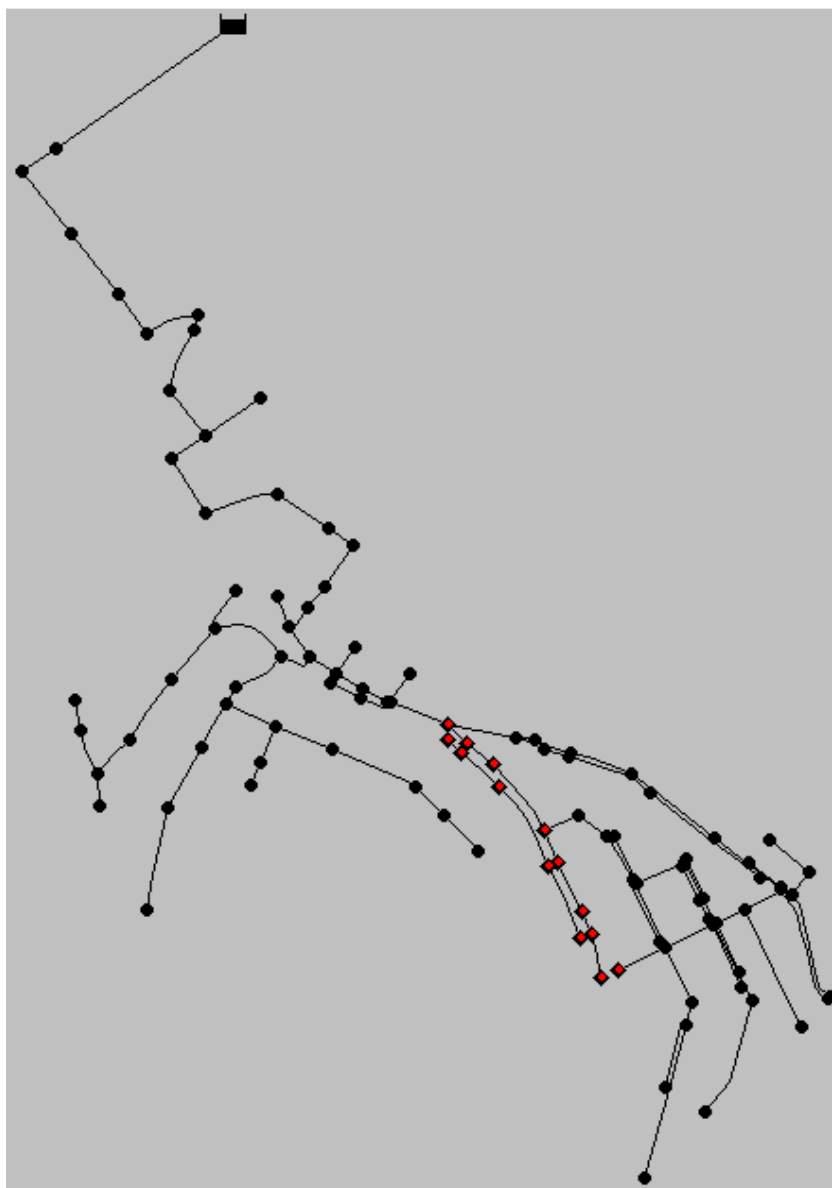


FIGURA 6.21: Localização dos Coeficientes Emitters gerado após a calibração

Para calcular, então, as perdas reais, pegou-se as pressões horárias dos 14 nós e utilizando a equação 5.7, calculou-se as perdas reais. Para cada nó, foram totalizadas as perdas reais e depois somado aos demais nós. Os valores das pressões e o cálculo das perdas reais dos 14 nós encontram-se nos Apêndices D até G.

Os resultados da calibração mostraram que as perdas reais diárias foram de 49,73 m³ de água ou 49.730 litros por dia. Projetando estas perdas para um mês e fazendo um balanço hídrico (tabela 6.6), temos:

TABELA 6.6: Balanço Hídrico simplificado das perdas utilizando o método da calibração

Água que entra no sistema 7129 m³ (100,00%)	Consumo Autorizado 4681 m³ (65,66%)	Consumo Autorizado Faturado 4681 m³ (100,00%)
		Consumo Autorizado Não Faturado 0 m³ (0,00%)
	Perdas de Água 2448 m³ (34,34%)	Aparentes 906 m³ (37,00%)
		Reais 1542 m³ (63,00%)

Do montante total de perdas de água, 2448 m³, 63,00% representam perdas reais, enquanto 37,00%. Estes valores mostram uma contradição referente a proporção de perdas reais e aparentes apresentados na figura 4.7. Mas vale ressaltar que essa proporção é dada para todo o sistema, enquanto nossa análise é baseada em apenas um setor.

6.8.3 Mínimas Noturnas

Nos dias 22 e 23 de outubro, os equipamentos foram instalados em campo para medição dos dados de pressão. Foram monitorados os pontos P1, P2 e P3. Os equipamentos foram ajustados para uma taxa de leitura a cada 1 minuto, para representar de forma mais precisa a variação da pressão durante as manobras. Para calcular as perdas reais, usaremos apenas os valores registrados de hora em hora.

Saiu-se para campo por volta da 00h30min para dar início as manobras. Juntamente com o responsável técnico da SIMAE, o senhor Ademar de Giacometti, deu-se início as manobras às 01h15min. Uma pessoa ficava encarregada de ir fechando a entrada de água no setor da Subestação (6.22), enquanto a outra acompanhava a variação da vazão pelo conversor do macromedidor (6.23). A cada manobra, esperava-se 30 minutos para a vazão se estabilizar.

Os valores apresentados a tabela 6.7 demonstram que as medições não obtiveram sucesso. Os valores médios de N_1 estão muito acima do esperado (entre

1,5 até 2,5). Observando o início do horário das manobras, pode-se observar que as elas não começaram no tempo certo. Outro fator que influenciou foi o valor da vazão durante a madrugada, ainda alto para os padrões do setor. Como este dia de medição foi numa quarta feira, tradicional dia de jogos de futebol na televisão, muitos moradores ficaram acordados até mais tarde. Por último, mas não por isso menos importante, foram os valores de queda de pressão a cada manobra. Não foi garantida uma queda de valores na ordem de 10 m.c.a devido à impossibilidade de acompanhar a medição de um datalogger de pressão, já que o mesmo encontrava-se longe do local das manobras.



FIGURA 6.22 - Início das manobras no setor da Subestação



FIGURA 6.23 - Conversor do macromedidor do setor da Subestação

TABELA 6.7 - Resumo dos valores de vazão, pressão e N_1 encontrados no setor da Subestação para a primeira tentativa

Pontos de medição	Horário	Vazão Q (m³/h)	Pressão P (m.c.a)	Valores de N_1
P1	01:15	3,50	50,06	1,6619
	01:45	2,80	43,77	4,2573
	02:15	2,10	40,91	3,3200
	02:45	1,10	33,67	N_1 médio = 3,0797
P2	01:15	3,50	73,82	3,0128
	01:45	2,80	68,55	2,8327
	02:15	2,10	61,93	7,5862
	02:45	1,10	56,87	N_1 médio = 4,4772
P3	01:15	3,50	40,75	1,6146
	01:45	2,80	35,49	1,4343
	02:15	2,10	29,04	3,4297
	02:45	1,10	24,05	N_1 médio = 2,1595

Uma segunda tentativa foi realizada no dia 30 de outubro. Foi trocado o Ponto 2 pelo Ponto 4, devido a problemas no cavalete do hidrômetro do Ponto 2. Da mesma forma que na tentativa anterior, os equipamentos foram ajustados para uma taxa de leitura a cada um minuto.

Saiu-se para campo por volta das 01h30min, dando início as manobras às 02h00min, corrigindo-se a questão do horário correto das manobras. Já a garantia de queda de pressão na ordem de 10 m.c.a durante as manobras foi resolvida de acordo com os valores da tabela 6.7. Percebeu-se que era necessário fazer a vazão cair em 1 m³/hora pra garantir a queda correta de pressão. A tabela 6.8, mostra os valores de vazão e pressão durante as manobras no setor da Subestação.

TABELA 6.8 - Resumo dos valores de vazão, pressão e N₁ encontrados no setor da Subestação para a segunda tentativa

Ponto de Medição	Horário	Vazão Q (m³/h)	Pressão P (m.c.a)	Valores de N1
P1	2:00	3,60	51,46	1,9823
	2:30	2,30	41,05	1,6601
	3:00	1,40	30,44	1,5906
	3:30	0,75	20,56	N₁ médio = 1,7443
P3	2:00	3,60	40,64	1,6010
	2:30	2,30	30,72	1,1799
	3:00	1,40	20,17	0,9220
	3:30	0,75	10,25	N₁ médio = 1,2343
P4	2:00	3,60	46,99	1,8411
	2:30	2,30	36,84	1,4713
	3:00	1,40	26,29	1,3312
	3:30	0,75	16,45	N₁ médio = 1,5479

Com os valores médios de N₁ para cada ponto de monitoramento, podemos agora, calcular o Fator Noite/Dia de acordo com os valores encontrados na tabela 6.9. Fazendo uma média dos valores encontrados, temos que:

$$Fator\ Noite / Dia_{médio} = \frac{22,96 + 17,26 + 17,13}{3}$$

$$Fator\ Noite / Dia_{médio} = 19,12$$

A vazão mínima noturna média do setor da Subestação, de acordo com os dados do supervisor, durante o período das 3h00min às 4h00min é de 2,8 m³/h. Com isso, temos que o Volume Diário de Perdas Reais no setor da Subestação é:

$$VDPR = 19,12\ hora / dia \times 2,8\ m^3 / hora$$

$$VDPR = 53,54\ m^3 / dia = 53.540\ Litros / dia$$

TABELA 6.9 – Resumo dos valores de vazão e pressão durante as mínimas noturnas e valores dos Fatores Noite/Dia

Data	Hora	Vazão (m³/h)	Pressão (m.c.a)		
			Ponto 1	Ponto 4	Ponto 3
30/10/2008	17:00:00	10,50	50,52	32,06	38,58
30/10/2008	18:00:00	10,50	50,94	34,95	39,61
30/10/2008	19:00:00	13,30	51,04	29,06	34,49
30/10/2008	20:00:00	11,80	50,62	32,99	41,04
30/10/2008	21:00:00	11,00	50,83	33,71	40,63
30/10/2008	22:00:00	7,50	50,62	36,92	43,09
30/10/2008	23:00:00	8,00	51,04	36,5	42,58
31/10/2008	00:00:00	5,80	51,46	38,67	44,84
31/10/2008	01:00:00	3,30	51,46	40,74	46,78
31/10/2008	02:00:00	3,30	51,46	40,64	46,99
31/10/2008	03:00:00	1,40	30,44	20,17	26,29
31/10/2008	04:00:00	3,00	51,35	40,53	46,58
31/10/2008	05:00:00	3,00	51,56	40,95	46,88
31/10/2008	06:00:00	4,30	51,35	40,53	46,27
31/10/2008	07:00:00	8,30	51,35	34,54	41,56
31/10/2008	08:00:00	14,80	50,1	30,2	36,02
31/10/2008	09:00:00	15,00	49,79	21,52	27,11
31/10/2008	10:00:00	18,00	49,9	18,93	26,49
31/10/2008	11:00:00	18,00	50,1	25,14	31,31
31/10/2008	12:00:00	19,00	49,48	19,04	24,75
31/10/2008	13:00:00	18,50	49,58	16,45	24,14
31/10/2008	14:00:00	17,80	49,79	23,89	29,46
31/10/2008	15:00:00	17,80	49,79	27	32,74
31/10/2008	16:00:00	15,80	50	23,69	29,77
Fator Noite/Dia			22,96	17,26	17,13

O resultado mostra que, por dia, 53,54 m³ de água perdida são devido às perdas reais, ou 53.540 litros por dia. Da mesma forma, extrapolaram-se os resultados para um mês, mostrados no balanço hídrico na tabela 6.10.

Esta estimativa mensal de perdas reais foi feita neste estudo, devido às imprecisões que foram observadas, caso o balanço hídrico fosse realizado apenas no dia. Durante as manobras, os valores de vazão macromedido tem a sua precisão prejudicada com valores abaixo de 4 m³/hora, de acordo com o catálogo do fabricante. Isso geraria incertezas com relação ao volume disponibilizado ao setor.

Outra imprecisão seria o volume micromedido. A SIMAE nos fornece o volume micromedido total no mês. Para fazermos o balanço hídrico diário, bastaria dividir a leitura pelo número de dias de leitura. Isso também resultaria numa incerteza nos valores de consumo.

TABELA 6.10 - Balanço Hídrico simplificado do setor da Subestação utilizando o método das VMN

Água que entra no sistema 7129 m³ (100,00%)	Consumo Autorizado 4681 m³ (65,66%)	Consumo Autorizado Faturado 4681 m³ (100,00%)
		Consumo Autorizado Não Faturado 0 m³ (0,00%)
	Perdas de Água 2448 m³ (34,34%)	Aparentes 842 m³ (32,19%)
		Reais 1660 m³ (67,81%)

6.9. Comparação de desempenho

Após calcular as perdas reais do setor da Subestação utilizando a calibração e as Vazões Mínimas Noturnas, será feita uma comparação de desempenho entre outras companhias de saneamento utilizando o IPR – Índice de Perdas por Ramal ou ligação (equação 4.3). Os dados foram tirados da Revista Saneamento para Todos (2007).

TABELA 6.11 – Comparação entre SAA utilizando o Índice de Perdas por Ramal

Empresa	Perdas (litros/ligação/dia)		
	Reais	Aparentes	Totais
ER Ilhéu/EMBASA	167	239	406
SAAE Viçosa	277	101	378
SAE Ituiutaba	158	33	191
SAMAE São Bento do Sul	128	95	223
COPASA Montes Claros	296	125	421
SEMASA Santo André	203	86	289
SAAE Sorocaba	426	169	595
US Santa Maria/CORSAN	443	146	589
SAAEG Guaratinguetá	318	52	370
SAMAE Caxias do Sul	444	129	573
SIMAE Capinzal/Ouro - Calibração	109	64	173
SIMAE Capinzal/Ouro - VMN	114	60	174

Observando os valores da tabela 6.11, pode-se constatar que o sistema de abastecimento de água de Capinzal/Ouro lidera entre as demais companhias de saneamento comparadas. Vale ressaltar que os dados das outras companhias fazem alusão a todo o seu sistema, enquanto os dados da SIMAE de Capinzal/Ouro refletem apenas dados de um setor. Mas fazendo uma reflexão de que este setor analisado é o segundo mais problemático em todo o sistema, é de se esperar que os demais apresentem perdas totais abaixo de 170 litros/ligação/dia.

7. CONCLUSÕES

O valor diário de perdas reais pelo método da calibração, de 49,73 m³, e pelo método das Vazões Mínimas Noturnas, de 52,53 m³, mostrou-se bastante satisfatórios. Os dois métodos conseguiram estimar as perdas reais com valores muito próximos. Aliado a eles, os seus respectivos balanços hídricos puderam mostrar de forma simples e eficiente para onde vai cada parcela de água dentro do setor.

Apesar dos métodos conseguirem estimar as perdas reais de forma similar, o mesmo não se pode dizer dos valores absolutos encontrados. A média aproximada das perdas reais pelos dois métodos de 50 m³ é um valor de perdas reais elevado. Fazendo uma projeção de perdas reais no mês, isso representa uma perda de 1500 m³ de água ou 1.500.000 litros. Esta quantidade de água desperdiçada daria para abastecer diariamente uma população de 7500 pessoas, quase um terço da demanda de água diária de ambos os municípios aqui estudados.

De fato, os valores de perdas reais levantados no setor da Subestação, o segundo setor mais crítico do sistema todo, são preocupantes. Mas uma comparação feita com diversos outros sistemas espalhados pelo Brasil, apresentada no item 6.9 mostra que a SIMAE Capinzal/Ouro possui ótimos valores de perdas, como um todo.

Fazendo uma comparação dos métodos aqui apresentados, a calibração via EPANET Calibrador mostrou-se ser uma alternativa muito interessante a ser adotada dentro das companhias de saneamento, já que previamente a etapa da calibração, é necessário modelar a rede no EPANET, e esta modelagem permite obter uma visão global em tudo o que acontece na rede em termos de pressão, vazão, qualidade de água, picos de consumo, nível dos reservatórios e uma série de outros parâmetros oferecidos pelo EPANET.

Já o método das Vazões Mínimas Noturnas, caso não haja dados de pressão disponíveis na companhia, necessita de medições preliminares em diversos pontos da rede, antes de partir para as medições propriamente ditas. Porém, é um método simples e muito eficaz no levantamento das perdas reais, se observado atentamente todo o seu protocolo de como realizar as medições.

Conclui-se então, que a etapa preliminar da calibração, referente à modelagem da rede no EPANET, é um passo fundamental no levantamento das perdas reais. Posteriormente caberá ao operador escolher o método que lhe é mais prático. Muitos ainda irão preferir as experimentações em campo, utilizando o método das VMN, pois a modelagem matemática ainda é uma realidade a ser alcançada nas companhias de saneamento, onde reinam praticamente as experimentações em campo.

8. RECOMENDAÇÕES

Com relação aos métodos, recomenda-se para a calibração que sejam coletados dados de pelo menos uma semana, para que em dias com maior consumo e menor consumo sejam diluídos pela média. Vale ressaltar que durante este tempo não deverá haver manobras no setor para não prejudicar as medições. Caso haja algum vazamento no setor durante as leituras, os dados daquele dia devem ser desconsiderados, assim como nas manobras.

Para o método das Vazões Mínimas Noturnas, como são apenas 24 horas de medição, é necessário escolher um dia bem típico de consumo e evitar fazer medições durante os finais de semana, visto que as pessoas passam mais tempo em casa, aumentando o consumo. Nas segundas feiras, é dia típico de limpeza, onde o consumo de água pode ser alto. Nas quartas feiras, também é complicado realizar medições visto que é um dia de semana tradicional de futebol na televisão, onde as pessoas vão dormir mais tarde, elevando os valores de vazão durante a madrugada. Isso também acontece nas sextas feiras onde os jovens saem à noite e voltam na madrugada, aumentando o consumo na madrugada. Por isso, os dias de semana recomendados para as medições são as terças feiras e quintas feiras.

Como já foi visto, foram necessários equipamentos de medição de pressão para obter dados de campo e realizar o estudo das perdas reais. É recomendado que as companhias adquiram estes equipamentos, visto que o total investido neles seria gradualmente recuperado com as ações de combate às perdas. De acordo com as características do setor em estudo, recomendam-se as seguintes ações no combate às perdas reais:

- Pesquisa de vazamentos: Formar uma equipe de pesquisa de vazamentos, liderados por um técnico especializado e utilizar equipamentos com Geofone ou Correlacionador de Ruídos para localização e reparo rápido dos vazamentos;
- Colocação de VRP's ou Realização de uma nova setorização: Instalar as válvulas em pontos estratégicos na rede ou fazer um estudo de uma nova setorização da Subestação com o intuito de minimizar altos valores de pressão encontrados com certos pontos da rede. Isso reduziria a incidência de arrebentamento das tubulações, diminuindo as perdas reais;
- Substituição de trechos de rede com muitos reparos: Substituir trechos de rede que já apresentam diversos reparos. As altas pressões no setor durante a madrugada faz com que os diversos consertos possam vir a provocar pequenos vazamentos em diversas partes da tubulação;

Um dos trabalhos recomendados para complementação deste estudo é a análise econômica das perdas, ou seja, quanto que é gasto com vazamentos, tanto na questão do tratamento da água quanto na questão da sua distribuição, envolvendo o consumo de energia elétrica nas estações elevatórias. Neste estudo, estariam inclusos a revisão dos contratos de tarifas firmados entre a companhia de saneamento e elétrica, operação dos níveis reservatórios e faixa operacional dos conjuntos motor-bomba. Um segundo trabalho indicado é o estudo da previsão de rompimentos das tubulações. Durante certo tempo, já não é mais recomendável o reparo parcial e sim a

troca total da tubulação. Com este estudo seria possível saber quando não é mais vantajoso reparar e sim substituir toda a tubulação.

9. BIBLIOGRAFIA

ALEGRE, H. *et al.* **Performance indicators for water supply service.** IWA Publishing, 2000.

ARAÚJO, L. S. **Controle de perdas na gestão sustentável dos sistemas de abastecimento de água.** 2005. Tese de Doutorado - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

ARAUJO PRINCE, A. Rede de distribuição. In: HELLER, L. e PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para consumo humano.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006, cap. 14, pg. 603-681.

BHAVE, P. R. Calibrating water distribution network models. **Journal of Environmental Engineering.** v. 114, n. 1, p. 120-136, Feb, 1988.

BOULOS, P. F.; WOOD, D. J. Explicit calculation of pipe-network parameters. **Journal of hydraulic Engineering,** v. 116, n. 11, p. 1329-1344, Nov, 1990.

CESARIO, A. L.; DAVIS, J. O. Calibrating water system models. **Journal of AWWA, American Water Works Association,** v. 76, n. 7, p. 66-69, 1984.

CHEUNG, P. B. **Investigação dos métodos clássicos de calibração de redes hidráulicas.** Campo Grande. 132 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2001.

DACACH, N.G. **Sistemas Urbanos de Água.** Livros Técnicos e Científicos Editora. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 1979.

DATTA, R. S. N.; SRIDHARAN, K. Parameter estimation in water-distribution systems by least squares, **Journal of the Water Resources Planning and Management,** v. 120, n. 4, p. 405-422, July/Aug, 1994.

De SCHAEZTEN, W.; SAVIC, D.A.; WALTERS, G. A.; ROUSSEAU, M. Analysis of the sensitivity of the calibration optimization problem. In: SAVIC, D. A. (ed.); WALTERS, G. A. (ed.): **Water network modeling for optimal design and management,** p. 43-54, Set, 2000.

ABE, N., CHEUNG, P. B. **EPANET Calibrator User's Guide.** Campo Grande, MS, 2008.

FÀVERO J.A e DIB, M.E.M.. **Pesquisa e controle de perdas em sistemas de abastecimento de água.** Revista DAE, n. 126, 1981.

FERRERI, G.; NAPOLI, E.; TUMBILOLO, A. Calibration of roughness in water distribution networks, In: MILLER, D. S. (ed.): **2nd International Conference on Water Pipeline Systems,** BHR Group Conference Series, p. 379-496, Edinburgh, Scotland, 1994.

GAMBALE, S. R. **Aplicação de algoritmo genético na calibração de rede de água**. São Paulo, 266 p. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água**: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias. 2ª Edição. 242p. Editora Universitária / UFPB, 2004.

GOMES, H.P.; GARCIA, R.P.; REY, P.L.I. (Org.). **Abastecimento de água**: O estado da arte e técnicas avançadas. João Pessoa, PB: Editora Universitária UFPB, 2007, 386p.

GONÇALVES, E. **Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água – Estudo de caso da CAESB**. Brasília, 1998. Dissertação (Mestrado) Universidade de Brasília. Brasília – DF, 1998.

GESC – Governo do Estado de Santa Catarina.

Disponível em:

<http://www.sc.gov.br/conteudo/santacatarina/geografia/paginas/mapas.htm>

Acesso em: 12 nov. 2008.

GUMIER, C. C.; JUNIOR, E. L. **Aplicação de modelo de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento**. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.12 - nº 1 - jan/mar 2007, 32-41.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG, Belo Horizonte – MG, 2006, 859p.

HUNAIDI, O.; BROTHERS, K. Night flow analysis of pilot DMAs in Ottawa. Water Loss Specialist Conference, **International Water Association** (Bucharest, Romania, September 23, 2007), pp. 32-46

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>>. Acesso em: 29 ago. 2008.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. **Water Management - Industry as a Partner for Sustainable Development**. IWA, UNEP, United Kingdom, 60 p. 2002.

KAPELAN, Z. S.; SAVIC, D. A.; WALTERS, G. A. Hybrid GA for calibration of water distribution hydraulic models. **Proceedings of the 2002 Conference Water Resources Planning and Management**, Roanoke, Virginia, 2002.

LAMBERT, A; THORNTON, J. **Avaliação de Perdas Reais**. Consultoria à SABESP, São Paulo, 2002.

LANSEY, K. E.; BASNET, C. Parameter estimation for water distribution networks. **Journal of the Water Resources Planning and Management**, v. 117, n. 1, p. 126-144, Jan/Feb, 1991.

LIGGET, J. A. Network monitoring and the algorithmic location of leaks under steady and unsteady conditions. **Water Supply Systems – State of the art and future trends**. Computational Mechanics Publication. Southampton, 1993.

LINDNER, E. A. **Estudos de eventos hidrológicos extremos na Bacia do Rio do Peixe - SC com aplicação de índice de umidade desenvolvido a partir do Tank Model**. Florianópolis, 194 p. Dissertação (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

LUVIZOTTO JR., E. Relatório final de pós-doutoramento em Valência – Espanha. Processo FAPESP 96/6882-8. Março, 1998.

MIRANDA, E. C. **Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água – Indicadores de Perdas de Água e Metodologias para Análise de Confiabilidade**. Brasília. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, 2002.

MIRANDA, E. C. Gerenciamento de perdas de água. In: HELLER, L. e PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. cap. 17, pg. 789-816.

NELDER, J. A.; MEAD, R. A simplex method for function minimization. **The Computer Journal**, v. 7, n. 4, p. 308-313, 1965.

ORSINI, E. Q. **Sistemas de abastecimento de água**. Apostila da disciplina PHD 412 – Saneamento II. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, SP, 1996.

ORMSBEE, L. E.; WOOD, D. J. Explicit pipe network calibration. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 112, n. 2, p. 166-182, Apr, 1986.

ORMSBEE, L. E. Implicit Network Calibration. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 115, n. 2, p. 243-257, March/April 1989.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAPINZAL.
Disponível em: <<http://www.capinzal.sc.gov.br>>
Acesso em: 29 ago. 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO.
Disponível em: <<http://www.ouro.sc.gov.br>>
Acesso em: 29 ago. 2008.

PMSS - Programa de Modernização do Setor Saneamento. **Visão Geral da Prestação de Serviços de Água e Esgotos - 2001** (Um Extrato do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2001). Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, PMSS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Brasília, 87 p. 2003.

REIS, L. F. R.; PORTO, R. M.; CHAUDHRY, F. H. Optimal location of control valves in pipe networks by genetic algorithm. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 123, n. 6, p.317-326, 1997.

ROSSMAN, L. **EPANET 2 users manual**. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000.

SABESP/IPT. **Política de Manutenção de Hidrômetros na RMSP**: Diagnóstico, Recomendações e Revisão do Sistema de Gerenciamento. Relatório Final, São Paulo, 1987.

SAVIC, D. A.; WALTERS, G. A. Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 123, n. 2, p. 67-77, Mar/Apr, 1997.

SHAMIR, U.; HOWARD, C. D. D. Engineering Analysis of Water Distribution System. **Journal of the American Water Works Association**, v. 69, n. 9, p. 510-514, Set. 1977.

SIMAE – Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto Capinzal/Ouro.
Disponível em: <<http://www.classificadosmercosul.com.br/simaecao/historic.htm>>.
Acesso em: 21 ago. 2008.

SILVA, F. G. B.; REIS, L. F. R.; SOARES, A. K. Calibração de Rede de Distribuição de Água considerando as Perdas por Vazamento Explicitamente no Modelo com Uso de Algoritmos Genéticos - Aplicação para Rede da Cidade de São Carlos, S.P. In: **Seminário de Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Distribuição de Água - O Estado da Arte e Questões Avançadas**, 2002, João Pessoa. Anais Eletrônicos, 2002. v. 1. p. 1-2.

SILVA, F. G. B.; REIS, L. F. R.; CALIMAN, R. O. ; CHAUDHRY, F. H. Calibração de um Modelo de Rede de Distribuição de Água para um Setor de Abastecimento real Contemplando Vazamentos.. In: **XVI Simpósio Brasileiros de Recursos hídricos**, 2005, João Pessoa. Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005.

SILVA, A. C. A. **Calibração Automática de Rugosidades de Tubulações em Sistemas de Distribuição de Água com Aplicação de Algoritmos Genéticos**. Fortaleza. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará, 2006.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO.
Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2006. Brasília, DF, 2006.

SOARES, A. K. **Calibração de modelos de redes de distribuição de água para abastecimento considerando vazamentos e demanda dirigida pela pressão.** 153 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003.

SOARES, A. K. et al. **Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de Água de Campo Grande-MS via modelo inverso.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, n. 4, p. 312–321, 2004.

SOLOMATINE, D. P. Genetic and other global optimization algorithms – comparison and use in calibration problems. **Proceedings intern conference in hydroinformatics.** Balkema, Rotterdam, 1998.

SOUZA, R. S. **Aspectos computacionais da análise de redes de distribuição de água com componentes hidráulicos em regime permanente.** São Carlos, 236 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1994.

REVISTA SANEAMENTO PARA TODOS. Brasília: Ano 2, nº 4, novembro de 2007. p. 14-15.

TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas. In: TSUTIYA, M. T. (Ed.). **Abastecimento de água.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. cap. 10, p.457-525.

THORNTON, J. **Water Loss Control Manual,** McGraw Hill, New York, 2002.

TSUTIYA, M. T. Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. São Paulo: Associação **Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental,** 2005, 185 p.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água.** São Paulo, 2006, 643 p.

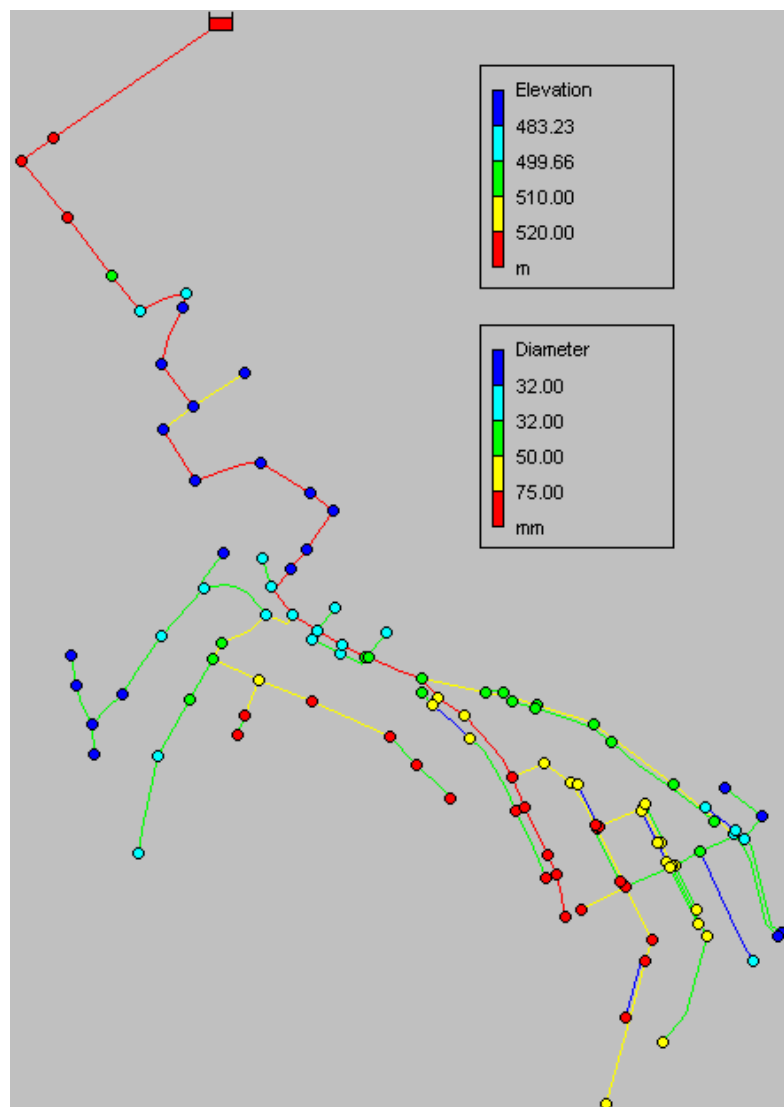
VIEGAS, J. V. Simulação do comportamento hidráulico de redes de abastecimento de água utilizando o modelo EPANET In: Anais do XXVIII **Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental,** Cancun – México, Out. 2002.

VIEGAS J. V., STUCK, J., ALMEIDA J. F. Projeto piloto de redução de perdas de água e de energia elétrica no sistema de Rio Pardo In: Anais do **VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água,** João Pessoa – Brasil, Jun. 2006.

WALSKI, T. M. Technique for calibrating network models. **Journal of Water Resources Planning and Management.,** ASCE, 109(4), 360-372, 1983.

WEIMER, D. Water Loss Management and Techniques. **German national Report**, Berlin, 2001.

APÊNDICE A – Relação das cotas (Elevation) e diâmetros (Diameter) do setor da Subestação



APÊNDICE B – Relação dos valores de pressão observada, simulada e calibrada para os Pontos 1, 2 e 3

Data	Hora	Pressão no Ponto 1 (m.c.a)			Pressão no Ponto 2 (m.c.a)			Pressão no Ponto 3 (m.c.a)		
		Observada	Simulada	Calibrada	Observada	Simulada	Calibrada	Observada	Simulada	Calibrada
21/10/2008	20:00:00	49,59	59,27	49,12	63,99	73,55	65,30	30,96	51,62	43,29
21/10/2008	21:00:00	49,68	59,32	49,22	69,16	73,94	67,01	36,27	52,02	45,04
21/10/2008	22:00:00	50,25	59,39	49,34	69,16	74,37	69,09	36,89	52,46	47,15
21/10/2008	23:00:00	50,06	59,43	49,41	70,82	74,61	70,41	38,66	52,71	48,49
22/10/2008	00:00:00	49,97	59,44	49,45	72,68	74,72	71,11	39,91	52,82	49,20
22/10/2008	01:00:00	49,97	59,45	49,46	73,50	74,78	71,25	40,33	52,84	49,34
22/10/2008	02:00:00	50,25	59,45	49,47	73,19	74,77	71,43	39,91	52,87	49,52
22/10/2008	03:00:00	50,16	59,45	49,47	73,81	74,76	71,39	40,85	52,87	49,49
22/10/2008	04:00:00	50,25	59,44	49,44	73,92	74,7	70,97	40,95	52,80	49,06
22/10/2008	05:00:00	50,16	59,35	49,26	73,61	74,09	67,71	40,85	52,17	45,75
22/10/2008	06:00:00	50,16	59,10	48,86	73,61	72,43	60,76	41,05	50,47	38,66
22/10/2008	07:00:00	50,06	58,83	48,49	70,71	70,68	54,38	38,04	48,69	32,13
22/10/2008	08:00:00	49,87	58,67	48,28	67,82	69,57	50,56	34,71	47,54	28,21
22/10/2008	09:00:00	49,68	58,64	48,24	66,48	69,4	49,99	28,47	47,37	27,63
22/10/2008	10:00:00	49,30	58,70	48,33	64,92	69,83	51,44	30,96	47,81	29,12
22/10/2008	11:00:00	49,20	58,70	48,33	62,44	69,83	51,44	29,40	47,81	29,12
22/10/2008	12:00:00	49,11	58,71	48,33	61,51	69,87	51,58	30,96	47,85	29,26
22/10/2008	13:00:00	49,01	58,92	48,61	59,34	71,25	56,39	27,01	49,27	34,19
22/10/2008	14:00:00	49,2	59,02	48,75	63,89	71,91	58,80	26,8	49,94	36,66
22/10/2008	15:00:00	49,87	59,00	48,72	69,27	71,78	58,31	35,96	49,81	36,16
22/10/2008	16:00:00	49,59	58,94	48,64	68,85	71,35	56,84	36,37	49,40	34,65
22/10/2008	17:00:00	49,11	58,86	48,53	68,23	70,86	54,97	33,67	48,86	32,74
22/10/2008	18:00:00	49,49	58,99	48,71	67,51	71,73	58,14	34,81	49,76	35,98
22/10/2008	19:00:00	48,06	59,15	48,94	67,30	72,78	62,13	33,04	50,83	40,06

APÊNDICE C – Relação dos valores de pressão observada, simulada e calibrada para os Pontos 4 e 5 e relação dos valores de vazão observada, simulada e calibrada para a saída do RS-6B

Data	Hora	Pressão no Ponto 4 (m.c.a)			Pressão no Ponto 5 (m.c.a)			Vazão na saída do RS-6B (m³/h)		
		Observada	Simulada	Calibrada	Observada	Simulada	Calibrada	Observada	Simulada	Calibrada
21/10/2008	20:00:00	40,24	49,52	40,57	81,83	101,44	92,50	8,80	4,89	7,10
21/10/2008	21:00:00	39,86	49,93	42,37	87,77	101,87	94,33	9,30	4,11	6,37
21/10/2008	22:00:00	42,63	50,37	44,55	88,28	102,34	96,56	6,50	3,07	5,38
21/10/2008	23:00:00	43,96	50,63	45,96	88,18	102,61	97,98	4,50	2,32	4,67
22/10/2008	00:00:00	45,30	50,75	46,70	90,64	104,74	98,73	3,80	1,88	4,25
22/10/2008	01:00:00	45,20	50,77	46,85	91,56	102,76	98,89	3,80	1,79	4,16
22/10/2008	02:00:00	45,96	50,80	47,04	91,05	102,79	99,08	3,00	1,67	4,05
22/10/2008	03:00:00	45,49	50,79	47,00	92,07	102,78	99,04	2,80	1,69	4,07
22/10/2008	04:00:00	45,96	50,72	46,55	92,18	102,71	98,58	3,00	1,97	4,34
22/10/2008	05:00:00	45,77	50,08	43,10	92,07	102,04	95,08	3,50	3,77	6,05
22/10/2008	06:00:00	44,91	48,35	35,84	92,18	100,21	87,65	8,80	6,70	8,77
22/10/2008	07:00:00	37,77	46,53	29,22	89,31	98,30	80,86	9,30	8,88	10,75
22/10/2008	08:00:00	33,29	45,36	25,28	86,13	97,07	76,80	11,80	10,07	11,81
22/10/2008	09:00:00	34,05	45,18	24,69	84,59	96,88	76,19	11,80	10,24	11,96
22/10/2008	10:00:00	34,62	45,63	26,19	83,06	97,36	77,74	14,00	9,80	11,57
22/10/2008	11:00:00	39,67	45,63	26,19	81,83	97,36	77,74	12,80	9,80	11,57
22/10/2008	12:00:00	39,2	45,67	26,33	78,86	97,40	77,89	15,50	9,76	11,53
22/10/2008	13:00:00	38,72	47,12	31,30	78,96	98,92	83,00	12,50	8,23	10,16
22/10/2008	14:00:00	40,63	47,81	33,80	82,85	99,94	85,57	8,80	7,40	9,42
22/10/2008	15:00:00	37,02	47,67	33,29	88,59	99,50	85,05	7,80	7,57	9,57
22/10/2008	16:00:00	36,91	47,25	31,77	87,56	99,06	83,48	8,80	8,08	10,03
22/10/2008	17:00:00	37,48	46,70	29,83	85,52	98,48	81,49	11,00	8,69	10,58
22/10/2008	18:00:00	35,19	47,62	33,12	88,08	99,45	84,87	13,00	7,63	9,62
22/10/2008	19:00:00	39,58	48,71	37,26	83,16	100,60	89,11	13,80	6,18	8,30

APÊNDICE D – Relação dos nós gerados pela calibração com Coeficiente Emitters (a)

Horário	Nó 70		Nó 92		Nó 95		Nó 96	
	Pressão	Perda real (m³/h)	Pressão	Perda real (m³/h)	Pressão	Perda real (m³/h)	Pressão	Perda real (m³/h)
00:00	69,77	0,200	66,75	0,196	62,49	0,190	51,71	0,173
01:00	69,91	0,201	66,89	0,196	62,64	0,190	51,86	0,173
02:00	70,1	0,201	67,08	0,197	62,83	0,190	52,05	0,173
03:00	70,06	0,201	67,04	0,197	62,79	0,190	52,01	0,173
04:00	69,61	0,200	66,59	0,196	62,34	0,189	51,55	0,172
05:00	66,19	0,195	63,16	0,191	58,9	0,184	48,11	0,166
06:00	58,97	0,184	55,93	0,179	51,66	0,172	40,84	0,153
07:00	52,39	0,174	49,34	0,169	45,06	0,161	34,22	0,140
08:00	48,47	0,167	45,42	0,162	41,13	0,154	30,28	0,132
09:00	47,89	0,166	44,83	0,161	40,54	0,153	29,69	0,131
10:00	49,38	0,169	46,32	0,163	42,04	0,156	31,19	0,134
11:00	49,38	0,169	46,32	0,163	42,04	0,156	31,19	0,134
12:00	49,52	0,169	46,46	0,164	42,18	0,156	31,33	0,134
13:00	54,46	0,177	51,41	0,172	47,13	0,165	36,3	0,145
14:00	56,95	0,181	53,9	0,176	49,63	0,169	38,8	0,149
15:00	56,44	0,180	53,4	0,175	49,12	0,168	38,3	0,149
16:00	54,93	0,178	51,88	0,173	47,61	0,166	36,77	0,146
17:00	53	0,175	49,95	0,170	45,67	0,162	34,84	0,142
18:00	56,27	0,180	53,22	0,175	48,95	0,168	38,12	0,148
19:00	60,39	0,187	57,35	0,182	53,08	0,175	42,26	0,156
20:00	63,67	0,192	60,64	0,187	56,38	0,180	45,57	0,162
21:00	65,46	0,194	62,43	0,190	58,17	0,183	47,37	0,165
22:00	67,63	0,197	64,61	0,193	60,35	0,186	49,56	0,169
23:00	69,02	0,199	66	0,195	61,75	0,189	50,96	0,171
24:00	69,76	0,200	66,74	0,196	62,49	0,190	51,71	0,173
	-	4,636	-	4,516	-	4,342	-	3,864

APÊNDICE E – Relação dos nós gerados pela calibração com Coeficiente Emitters (b)

Horário	Nó 133		Nó 134		Nó 135	
	Pressão	Perda real (m³/h)	Pressão	Perda real (m³/h)	Pressão	Perda real (m³/h)
00:00	38,64	0,149	35,29	0,143	31,7	0,135
01:00	38,79	0,149	35,44	0,143	31,85	0,135
02:00	38,98	0,150	35,63	0,143	32,04	0,136
03:00	38,94	0,150	35,59	0,143	32	0,136
04:00	38,49	0,149	35,14	0,142	31,55	0,135
05:00	35,04	0,142	31,69	0,135	28,1	0,127
06:00	27,77	0,126	24,42	0,119	20,83	0,110
07:00	21,16	0,110	17,81	0,101	14,21	0,090
08:00	17,22	0,100	13,87	0,089	10,28	0,077
09:00	16,63	0,098	13,28	0,087	9,69	0,075
10:00	18,13	0,102	14,78	0,092	11,19	0,080
11:00	18,12	0,102	14,77	0,092	11,18	0,080
12:00	18,27	0,103	14,92	0,093	11,33	0,081
13:00	23,24	0,116	19,89	0,107	16,3	0,097
14:00	25,74	0,122	22,39	0,114	18,8	0,104
15:00	25,23	0,121	21,88	0,112	18,29	0,103
16:00	23,71	0,117	20,36	0,108	16,77	0,098
17:00	21,77	0,112	18,42	0,103	14,83	0,092
18:00	25,05	0,120	21,7	0,112	18,11	0,102
19:00	29,2	0,130	25,85	0,122	22,26	0,113
20:00	32,51	0,137	29,15	0,130	25,56	0,121
21:00	34,31	0,141	30,96	0,134	27,37	0,126
22:00	36,49	0,145	33,14	0,138	29,55	0,130
23:00	37,89	0,148	34,54	0,141	30,95	0,134
24:00	38,64	0,149	35,29	0,143	31,7	0,135
	-	3,186	-	2,986	-	2,753

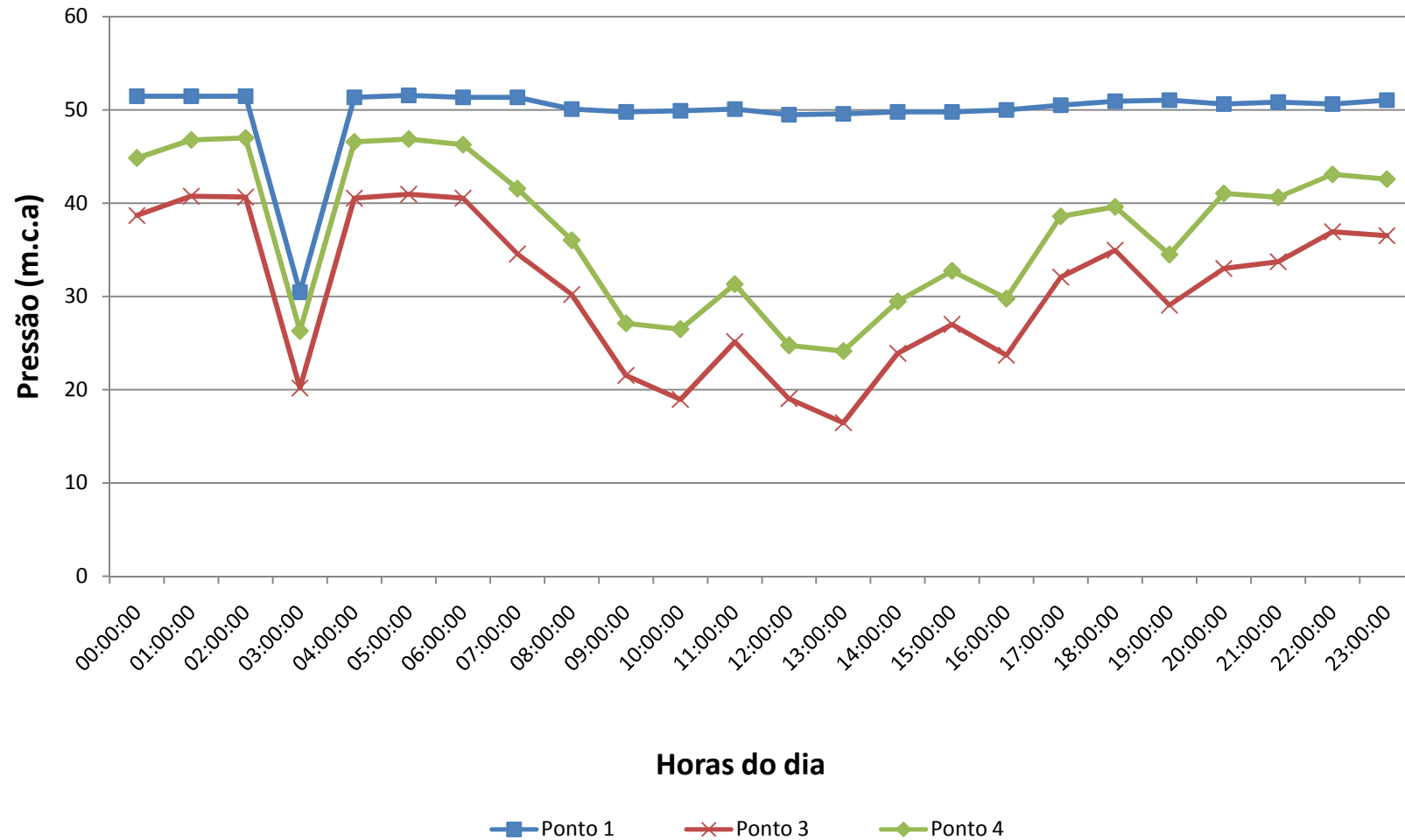
APÊNDICE F – Relação dos nós gerados pela calibração com Coeficiente Emitters (c)

Horário	Nó 132		Nó 130		Nó 129	
	Pressão	Perda real (m³/h)	Pressão	Perda real (m³/h)	Pressão	Perda real (m³/h)
00:00	35,28	0,143	46,7	0,164	58	0,183
01:00	35,42	0,143	46,85	0,164	58,15	0,183
02:00	35,61	0,143	47,04	0,165	58,34	0,183
03:00	35,58	0,143	47	0,165	58,3	0,183
04:00	35,12	0,142	46,55	0,164	57,84	0,183
05:00	31,67	0,135	43,1	0,158	54,4	0,177
06:00	24,4	0,119	35,83	0,144	47,12	0,165
07:00	17,78	0,101	29,21	0,130	40,5	0,153
08:00	13,85	0,089	25,28	0,121	36,57	0,145
09:00	13,25	0,087	24,69	0,119	35,97	0,144
10:00	14,76	0,092	26,19	0,123	37,48	0,147
11:00	14,75	0,092	26,18	0,123	37,47	0,147
12:00	14,9	0,093	26,33	0,123	37,62	0,147
13:00	19,86	0,107	31,29	0,134	42,59	0,157
14:00	22,37	0,114	33,8	0,140	45,09	0,161
15:00	21,86	0,112	33,29	0,138	44,58	0,160
16:00	20,34	0,108	31,77	0,135	43,06	0,157
17:00	18,4	0,103	29,83	0,131	41,12	0,154
18:00	21,68	0,112	33,11	0,138	44,41	0,160
19:00	25,83	0,122	37,26	0,146	48,55	0,167
20:00	29,13	0,130	40,56	0,153	51,86	0,173
21:00	30,94	0,133	42,37	0,156	53,66	0,176
22:00	33,12	0,138	44,55	0,160	55,85	0,179
23:00	34,53	0,141	45,95	0,163	57,25	0,182
24:00	35,27	0,143	46,7	0,164	58	0,183
	-	2,985	-	3,620	-	4,148

APÊNDICE G – Relação dos nós gerados pela calibração com Coeficiente Emitters (d)

Horário	Nó 93		Nó 94		Nó 131	
	Pressão	Perda real (m³/h)	Pressão	Perda real (m³/h)	Pressão	Perda real (m³/h)
00:00	66,74	0,196	67,74	0,198	46,7	0,164
01:00	66,89	0,196	67,88	0,198	46,85	0,164
02:00	67,08	0,197	68,07	0,198	47,04	0,165
03:00	67,04	0,197	68,03	0,198	47	0,165
04:00	66,59	0,196	67,58	0,197	46,55	0,164
05:00	63,16	0,191	64,15	0,192	43,1	0,158
06:00	55,92	0,179	56,91	0,181	35,84	0,144
07:00	49,33	0,169	50,32	0,170	29,22	0,130
08:00	45,41	0,162	46,39	0,163	25,28	0,121
09:00	44,82	0,161	45,8	0,162	24,69	0,119
10:00	46,32	0,163	47,3	0,165	26,19	0,123
11:00	46,31	0,163	47,3	0,165	26,19	0,123
12:00	46,46	0,164	47,44	0,165	26,33	0,123
13:00	51,41	0,172	52,39	0,174	31,3	0,134
14:00	53,9	0,176	54,89	0,178	33,8	0,140
15:00	53,39	0,175	54,38	0,177	33,29	0,138
16:00	51,88	0,173	52,86	0,174	31,77	0,135
17:00	49,95	0,170	50,93	0,171	29,83	0,131
18:00	53,22	0,175	54,2	0,177	33,12	0,138
19:00	57,34	0,182	58,33	0,183	37,26	0,146
20:00	60,64	0,187	61,63	0,188	40,57	0,153
21:00	62,43	0,190	63,42	0,191	42,37	0,156
22:00	64,6	0,193	65,6	0,194	44,55	0,160
23:00	66	0,195	66,99	0,196	45,96	0,163
24:00	66,74	0,196	67,73	0,198	46,7	0,164
	-	4,516	-	4,555	-	3,620

APÊNDICE H – Variação da pressão ao longo do dia durante as manobras no setor da Subestação



APÊNDICE I – Variação da pressão das 02h00min às 03h40min durante as manobras no setor da Subestação

